



Federação das Indústrias do Estado da Bahia

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

Engenharia Elétrica

Trabalho de Conclusão do Curso

Percepção e suas funcionalidades para robô de inspeção em linhas de alta tensão

Apresentada por: Luciana Moreno Borges
Felipe Cafezeiro Plech

Orientador: Prof. Marco Reis, M.Eng.

Novembro de 2018

Luciana Moreno Borges
Felipe Cafezeiro Plech

Percepção e suas funcionalidades para robô de inspeção em linhas de alta tensão

Trabalho de Conclusão do Curso apresentada ao , Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário SENAI CIMATEC, como requisito parcial para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia**.

Área de conhecimento: Interdisciplinar

Orientador: Prof. Marco Reis, M.Eng.

Salvador
Centro Universitário SENAI CIMATEC
2018

Resumo

A manutenção de linhas de alta tensão além de ser uma atividade de alto custo é uma prática de alto risco a integridade física do operador. De modo a substituir o trabalho humano em atividades de risco, soluções em robótica estão cada vez mais frequentes por conta da confiabilidade empregada. O Electrical Inspection Robot (ELIR) é um robô para inspeção em linhas de alta tensão através inspeção térmica, o seu sistema de Percepção conta com uma série de sensores e é capaz de disponibilizar ao usuário final todas as ocorrências realizadas durante a missão bem como data, horário e localização. Este trabalho de conclusão de curso descreve a metodologia, conceitos e resultados obtidos durante o desenvolvimento do sistema de percepção do ELIR, o trabalho conta com a participação de estudantes de graduação e doutorado da instituição a fim de promover pesquisa e desenvolvimento na área de robótica.

Palavras-chave: Linhas de transmissão, Inspeção, Robótica, Pontos quentes

Abstract

The maintenance of high voltage lines is a high-cost and dangerous activity for the employee's physical integrity. To replace human performance in risky activities, many robotic solutions are being implemented because of the reliability involved. The Electrical Inspection Robot (ELIR) is a high voltage line inspection robot using thermal imaging, its sensing system has several sensors and is capable of displaying all occurrences detected during the mission and informing the date, time and location of each one. This final course project describes the methodology, concepts and the results obtained during the perception system development. This report counts with undergraduate and doctorate students with the goal to promote development and research on robotics area.

Keywords: Electrical Lines, Inspection, Robotics, Hot Spots

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	1
1.1.1	Objetivos Específicos	1
1.2	Justificativa	1
1.3	Requisitos do cliente	1
1.4	Organização do Trabalho de Conclusão do Curso	2
2	Conceito do Sistema	3
2.0.1	Arquitetura de software do sistema de Percepção	4
2.0.1.1	Driver Layer	4
2.0.1.2	Business Layer	5
2.0.1.3	User Interface Layer	6
2.1	Especificação técnica do sistema de Percepção	6
2.2	Desdobramento da função qualidade para as funcionalidades	7
3	Materiais e Métodos	8
3.1	Lista de componentes	8
3.2	Diagramas mecânicos do sistema de Percepção	9
3.2.1	Suporte dos sensores	9
3.3	Modelo esquemático de alimentação e comunicação	10
3.3.1	Diagramas elétricos e eletrônicos	11
3.4	Especificação das funcionalidades	11
3.4.1	Aquisição	12
3.4.1.1	Objetivo	13
3.4.1.2	Dependências	14
3.4.1.3	Premissas	14
3.4.1.4	Saídas	14
3.4.2	Localização	15
3.4.2.1	Objetivo	15
3.4.2.2	Dependências	15
3.4.2.3	Premissas	16
3.4.2.4	Saídas	16
3.4.3	Detecção	16
3.4.3.1	Objetivo	16
3.4.3.2	Dependências	17
3.4.3.3	Premissas	17
3.4.3.4	Saídas	17
3.5	Interface do Usuário	18
4	Desenvolvimento e Testes	19
4.1	Especificação das funcionalidades	19
4.1.1	Aquisição	19
4.1.1.1	Objetivo	21
4.1.1.2	Dependências	21
4.1.1.3	Premissas	21

4.1.1.4	Saídas	22
4.1.2	Localização	22
4.1.2.1	Objetivo	22
4.1.2.2	Dependências	23
4.1.2.3	Premissas	23
4.1.2.4	Saídas	23
4.1.3	Detecção	23
4.1.3.1	Objetivo	23
4.1.3.2	Dependências	24
4.1.3.3	Premissas	24
4.1.3.4	Saídas	24
4.2	Interface do Usuário	25
4.3	Lista de materiais	25
4.3.1	Descrição dos componentes	26
4.4	Testes unitários	28
4.4.1	Câmera Térmica	28
4.4.1.1	Pré-processamento	30
4.4.1.2	Realce	33
4.4.1.3	Busca de Contornos	34
4.4.1.4	Procedimento de Teste	35
4.4.2	Phidgets	37
4.4.3	Sonar EZ-1	38
4.4.4	Sensor de Proximidade	39
4.4.5	<i>Smart Charger</i>	42
4.4.6	Sensor de Temperatura	43
4.4.7	GPS	43
4.4.8	IMU	44
4.5	Testes integrados	45
4.6	Suporte mecânico dos sensores da Percepção	46
5	Conclusão	48
A	QFD	50
B	Diagramas mecânicos	55
C	Diagramas eletro-eletrônicos	70
D	Wireframes	82
E	Logbook	84
F	Lista de componentes	85
	Referências	88

Lista de Tabelas

Lista de Figuras

2.1	Arquitetura Geral da Perception	4
2.2	Arquitetura Geral da Perception	5
3.1	Lista de materiais utilizados no sistema de Percepção do robô ELIR	9
3.2	Prateleira para suporte dos componentes eletrônicos	10
3.3	Prateleira para suporte com sensores	11
3.4	Prateleira para suporte dos componentes de alimentação	12
3.5	Fluxograma da Funcionalidade Aquisição	13
3.6	Nível de criticidade dos sensores	14
3.7	Fluxograma da Funcionalidade Localização	15
3.8	Fluxograma da Funcionalidade Detecção	17
4.1	Fluxograma da Funcionalidade Aquisição	20
4.2	Nível de criticidade dos sensores	21
4.3	Fluxograma da Funcionalidade Localização	22
4.4	Fluxograma da Funcionalidade Detecção	24
4.5	Lista de materiais utilizados no sistema de Percepção do robô ELIR	26
4.6	Lepton LWIR	28
4.7	Mensagem do frame da câmera	29
4.8	Esquemático do <i>Frame</i> da Câmera Térmica	29
4.9	The average and standard deviation of critical parameters	31
4.10	Exemplo de um ruídos em imagens. Aleatório, sistemático e banding, da esquerda para a direita.	32
4.11	Imagen Original	32
4.12	Imagen Original e após o filtro <i>blur</i>	33
4.13	Comparação entre os métodos de <i>thresholding</i>	34
4.14	Desenho do contorno em torno do objeto	35
4.15	Dados obtidos durante o teste	36
4.16	Correlação entre a temperatura e intensidade do pixel	36
4.17	Distribuição normal dos dados de intensidade de cor dos pixels	37
4.18	Distribuição normal dos dados de temperatura	37
4.19	Sonar EZ-1	39
4.20	Sensor de proximidade E18-D80NK	39
4.21	Distribuição Normal do sensor de proximidade para uma distância de 5cm	40
4.22	Distribuição Normal do sensor de proximidade para uma distância de 10cm	41
4.23	Distribuição Normal do sensor de proximidade para uma distância de 15cm	41
4.24	Protocolo de comunicação do <i>Smart Charger</i> e das baterias	42
4.25	Mensagem entre a Nucleo L432KC e o nó referente às baterias	42
4.26	Sensor de Temperatura LM35	43
4.27	GPS Piksi v2.3.1	44
4.28	IMU Xsens Mt-1	44
4.29	Teste Integrado	45
4.30	Prateleira para suporte dos componentes eletrônicos	46
4.31	Prateleira para suporte com sensores	47
4.32	Prateleira para suporte dos componentes de alimentação	47

C.1	Esquemático Geral	71
C.2	Esquemático - Smart Charger	72
C.3	Esquemático - Placa de Gerenciamento de Energia	73
C.4	Esquemático - NUC	74
C.5	Esquemático - Phidgets	75
C.6	Esquemático - STM32F401RE e FLIR LWIR Camera	76
C.7	Esquemático - ZED Camera	77
C.8	Esquemático - HUB dos Atuadores 1	78
C.9	Esquemático - HUB dos Atuadores 2	79
C.10	Esquemático - HUB dos Atuadores 3	80
C.11	Placa de Alimentação dos Sensores de Proximidade	81
D.1	Dashboard - Main page	82
D.2	Dashboard - Actuators Info Page	83

Introdução

1.1 *Objetivos*

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver o sistema de percepção para um robô de inspeção de linhas de transmissão ELIR (Electrical Line Inspection Robot).

1.1.1 *Objetivos Específicos*

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Detectar pontos quentes nas linhas de transmissão;
- Desenvolver o sistema georeferenciamento do robô;
- Elaborar o sistema de segurança do robô (Análise de temperatura, consumo e Capacidade da Bateria);
- Construir interface de comunicação com o usuário para apresentar as informações de segurança do robô, informação dos atuadores e todas as ocorrências da missão.

1.2 *Justificativa*

1.3 *Requisitos do cliente*

O desenvolvimento do sistema de percepção para o robô ELIR teve como fundamento os requisitos técnicos proposto pelo cliente do projeto. Os requisitos estão apresentados detalhadamente nos tópicos a seguir.

- **Inspeção de Temperatura dos cabos, estrutura e obstáculos:** Devem ser disponibilizadas as informações de medição de temperatura dos cabos, estrutura da linha e de seus obstáculos. Esses dados devem ser obtidos através da câmera térmica para inspeção

- **Georreferenciamento dos eventos:** Todos os eventos de detecção de pontos quentes, sobretemperatura e sobrecorrente devem ser sinalizados em um *logfile* informando a data, horário e coordenadas geográficas obtidos pelo GPS.
- **Disponibilizar os vídeos dos eventos:** A inspeção realizada pela câmera térmica deve ser disponibilizada em tempo real na interface gráfica do robô.
- **Identificação de posicionamento da garra no cabo:** A fim de garantir a confiabilidade da operação, deve ser realizado uma verificação do alinhamento das garras no cabo da linha de alta tensão.
- **Inspeção da linha de servidão:** Devem ser disponibilizadas informações de objetos até sete metros abaixo do robô
- **Monitorar temperatura do protótipo:** A temperatura da parte interna do protótipo deve ser monitorada para garantir a segurança dos equipamentos eletrônicos presentes.

1.4 Organização do Trabalho de Conclusão do Curso

Este documento apresenta 5 (cinco) capítulos e está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 1 - Introdução:** Contextualiza o âmbito no qual a pesquisa proposta está inserida. Apresenta, portanto, a definição do problema, objetivos e justificativas da pesquisa e como este trabalho de conclusão do curso está estruturado;
- **Capítulo 2 - Conceito do Sistema:** Descreve como o sistema de Percepção é composto, apresenta a especificação técnica, a arquitetura geral do sistema, a arquitetura de software e os requisitos técnicos;
- **Capítulo 3 - Materiais e Métodos:** Apresenta os materiais utilizados no projeto, explica os suportes mecânicos criados, o diagrama elétrico e o desenho da placa desenvolvida, além das especificações de cada funcionalidade do sistema;
- **Capítulo 4 - Resultados:** Apresenta a descrição dos testes unitários e integrados realizados;
- **Capítulo 5 - Conclusão:** Apresenta as conclusões, contribuições e algumas sugestões de atividades de pesquisa a serem desenvolvidas no futuro.

Conceito do Sistema

Para um robô, o ambiente é um mar de ambiguidades, no qual ele vai afundar ou nadar a depender da robustez de sua percepção.

(FITZPATRICK, 2003)

A percepção é, de acordo com o dicionário Michaelis (2004), a capacidade de distinguir por meio dos sentidos ou da mente.

Segundo Thorpe et al. (2003), este é o ponto fraco mais comuns em robôs pois para garantir sua segurança e confiabilidade é necessário que o mesmo tenha a capacidade de interpretar as variáveis ambientais. A percepção é o que torna os robôs diferentes de simples mecanismos, pois é ela quem dá a habilidade de adequar suas operações de acordo com as influências externas.

A percepção do ELIR pode ser definida como um sistema integrado de sensoriamento e com unidades de processamento, em que seus dados serão utilizados como parâmetros de tomada de decisão e disponibilizados durante a operação de inspeção ao operador.

O sistema foi projetado de forma a possuir três subsistemas principais: segurança, georreferenciamento e detecção. A descrição de cada um dos subsistemas e suas funcionalidades serão mostradas nas próximas sessões.

A Percepção é o sistema de sensoriamento do robô e pode ser entendida como a forma que ele comprehende o que esta ao seu redor. No projeto do robô ELIR, o sistema de percepção engloba a aquisição e a interpretação dos dados de todos os sensores envolvidos.

Na arquitetura geral deste sistema, mostrado na Fig. 2.1, estão representados as três camadas principais: *Sensing*, *Interface* e *ROS Environment*.

A etapa de *Sensing* é composta por todos os processos de aquisição de dados de todos os sensores envolvidos no projeto. A camada de interface compreende a disponibilização destes dados para o ambiente de trabalho ROS. Essas duas etapas são camadas de *hardware*. Por último, terá a camada de *software*, a qual será feita no *ROS Environment*, e que irá englobar todo o sistema de compreensão e interpretação dos dados provenientes do sistema de interfaceamento do robô.

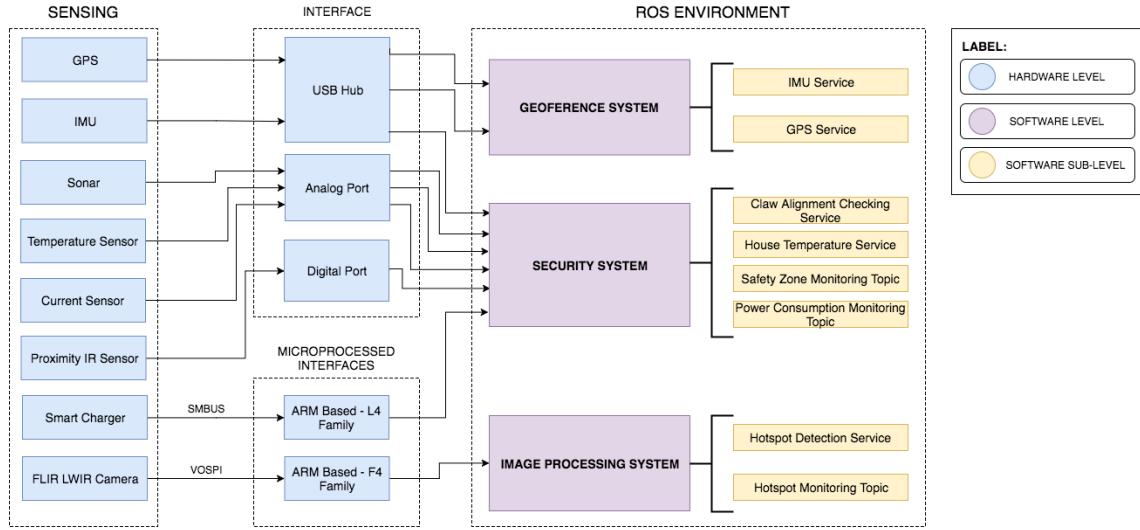


Figura 2.1: Arquitetura Geral da Perception

2.0.1 Arquitetura de software do sistema de Percepção

A arquitetura de software foi projetada em três camadas a fim de facilitar o desenvolvimento do sistema e simplificar o entendimento do mesmo. As camadas são:

- *User Interface Layer*
- *Business Layer*
- *Driver Layer*

As camadas e seus componentes podem ser vistos na Fig.2.2.

2.0.1.1 Driver Layer

A camada de *Driver Layer* está diretamente relacionada a funcionalidade de aquisição de dados. Ela composta pelo *hardware*, representado pelos sensores e seus respectivos drivers de comunicação. Desta forma, as subcamadas são nomeadas com o processo de aquisição de dados de cada sensor envolvido no projeto.

As subcamadas *Current Data Acquisition*, *Temperatura Data Acquisition*, *Proximity Data Acquisition* e *Sonar Data Acquisition* são responsáveis por adquirir as informações analógicas de seus sensores e transformá-los em dados da grandeza física a ser medida. Todas estas subcamadas utilizam a placa de interfaceamento Phidgets para o estabelecer de comunicação entre o computador (NUC) e os sensores.

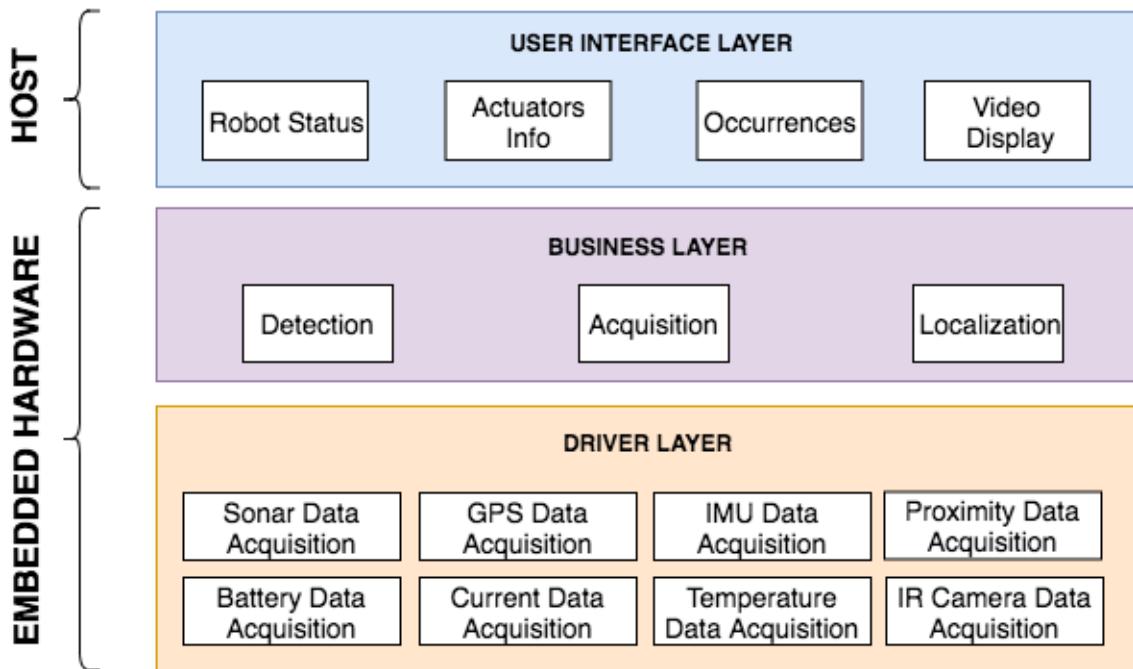


Figura 2.2: Arquitetura Geral da Perception

As subcamadas *IMU Data Acquisition* e *GPS Data Acquisition* são responsáveis pelo recebimento de dados da IMU e do GPS seguindo o protocolo de comunicação do fabricante. Esses dois módulos estão conectados ao *hub* USB da placa de interfaceamento Phidgets.

A subcamada de *IR Camera Data Acquisition* é responsável pela aquisição de dados da câmera térmica, a qual se comunica via VoSPI (Video over SPI) com um microcontrolador de arquitetura ARM (STM32F401RE) e converte os dados para USB e os envia à NUC.

Por último, a subcamada de *Battery Data Acquisition* é responsável pelo estabelecimento da comunicação e coleta de informações com o *Smart Charger* de bateria utilizando protocolo SMBus.

As conexões e diagramas elétricos podem ser vistos no apêndice C.

2.0.1.2 Business Layer

A camada *business layer* é responsável por implementar a regra de negócio do sistema. As funcionalidades do sistema são representadas como sub-camadas da business

layer, pois são elas responsáveis pelo processamento e coordenação dos dados adquiridos pela camada de aquisição.

2.0.1.3 User Interface Layer

A camada de *User Interface* foi projetada para disponibilizar os dados para o operador. Nela será mostrado de forma resumida os dados mais relevantes do robô e da operação. Nesta camada existem três subcamadas: *Robot Status Display*, *Actuators Display* e *Video Display*.

A subcamada *Robot Status Display* disponibiliza os dados de integridade do robô como temperatura, corrente, tensão, nível de bateria, entre outras informações. A subcamada de *Actuators Display* disponibiliza o dados de todos os motores do robô, como carga, temperatura, status e corrente. Por último, a subcamada de *Video Display* mostra em tempo real o monitoramento realizado pela câmera térmica, possibilitando o usuário ver os componentes da linha que estão com temperatura elevada e até mesmo identificar pontos quentes.

A interface irá se resumir em duas telas: A tela principal com um layout de *dashboard*, e outra que terá as informações dos atuadores. O *dashboard* será um painel de monitoramento, no qual haverá as informações mais importantes da missão, como pode ser visto na apêndice D.1. Essa tela irá mostrar as informações de integridade do robô, ocorrências e a imagem térmica. A tela dos atuadores irá mostrar de forma organizada, as informações já mencionadas, além da corrente total de cada *hub* de motores. Pode-se observar a tela de atuadores na Figura 4.24 no apêndice D.

2.1 Especificação técnica do sistema de Percepção

A construção do sistema de Percepção teve como base os requisitos técnicos do cliente. As especificações podem ser observadas abaixo:

- O sistema foi projetado para trabalhar com alimentação de 14V proveniente de baterias LiPo.
- A máxima temperatura de trabalho na *housing* é de 50 graus Celsius.
- O sistema consegue detectar objetos através do sonar em uma faixa de servidão de 6.45 metros.

- A obtenção de *frames* da câmera IR acontece na taxa de 1 frame a cada dois segundos.
- Em condições de sobretemperatura ou sobrecorrente o sistema alertará o operador.
- O sistema não é protegido contra ingresso de água

2.2 Desdobramento da função qualidade para as funcionalidades

Materiais e Métodos

A metodologia empregada para gerenciamento e execução do projeto ELIR é a mesma empregada na área de Robótica da Instituição. O projeto foi dividido em três fases principais:

- *Conceitual e Design*
- *Development*
- *Tests*

Na etapa de *Conceitual e Design* foram definidos os sensores a serem utilizados no projeto, o modelo esquemático de alimentação e comunicação bem como toda análise de funcionalidades e arquiteturas do robô. Esta é a etapa de criação de conceito tecnológico e o sucesso das demais etapas estão diretamente relacionadas ao sucesso desta.

Na etapa de *Development* as funcionalidades foram implementadas em código e todas as interfaces de alimentação e comunicação foram validadas. Esta fase é marcada pela implementação dos protocolos de comunicação, integração dos sensores com o *framework* de robótica e desenvolvimento da interface gráfica.

Já na etapa *Tests* foram realizados os testes unitários e integrados do sistema de percepção do robô comprovando o seu funcionamento.

3.1 *Lista de componentes*

No sistema de Percepção os sensores atuam como os sentidos do robô, recebendo dados externos e informando a unidade central de processamento os seus significados. Quanto maior o número de grandezas físicas analisadas, mais complexo o sistema de Percepção e maior a sua capacidade de compreensão.

Os sensores que compõem o sistema de Percepção do robô ELIR foram escolhidos com base nas necessidades de cada funcionalidade do sistema e disponibilidade do componente na própria instituição. A lista de componentes utilizada está mostrada na Figura 4.5.

Item	Description	Manufacturer	Part Number	power/current	connection	unit cost [R\$]	quantity	total cost [R\$]
01	interface board	Phidgets	1019_1B	500mA (max)	USB	R\$ 272,00	1	R\$ 272,00
02	proximity sensor	ETT CO. Ltd	E18-D80NK npn	<25mA	Digital Output	R\$ 29,00	5	R\$ 145,00
03	temperature sensor	Texas Instruments	LM35	10mA	Analog Output	R\$ 7,38	1	R\$ 7,38
04	gps	Swift Navigation	Piksi 2.3.1	5V, 500mW	USB	R\$ 3.398,00	1	R\$ 3.398,00
05	imu	XSENS	Mti-1	44mW	USB	R\$ 1.597,50	1	R\$ 1.597,50
06	ultrasonic sensor	Maxbotix	EZ-1	5V, 2mA	Analog Output	R\$ 107,82	1	R\$ 107,82
08	lwir camera	FLIR	Lepton 1.0	140mW	I2C	R\$ 812,50	1	R\$ 812,50
09	bridge board I	STMicroelectronics	STM32F401 RE	160mA/0.64W	USB	R\$ 49,79	1	R\$ 49,79
10	bridge board II	STMicroelectronics	STM32L432KC	140mA/0.56W	USB	R\$ 39,56	1	R\$ 39,56
11	battery	Inspired Energy	NH2054HD34	89Wh/6,2Ah	SMBus	R\$ 879,98	2	R\$ 1.759,97
12	power management board	SENAI CIMATEC	-	-	USB	R\$ 2.200,00	1	R\$ 2.200,00
13	smart charger for battery	Inspired Energy	EB325A	15mA/0.36W	SMBus	R\$ 1.296,00	1	R\$ 1.296,00
14	central processing	Intel	NUC515RYK	15W/12V	USB	R\$ 4.300,00	1	R\$ 4.300,00
15	cabo usb	-	-	-	USB	R\$ 10,00	2	R\$ 20,00
							Total:	R\$ 15.985,52

Figura 3.1: Lista de materiais utilizados no sistema de Percepção do robô ELIR

Fonte: Própria

3.2 Diagramas mecânicos do sistema de Percepção

O sistema de Percepção em robôs muitas vezes é entendida como uma implementação em código das funcionalidades do sistema, desconsiderando o aporte mecânico envolvido. Contudo, o suporte mecânico para os sensores é um grande desafio a ser solucionado.

Neste projeto, houve a necessidade de suportes mecânicos por conta da limitação de espaço além de haver uma restrição imposta pelo cliente na modificação estrutural no protótipo. A descrição dos suportes mecânicos desenvolvidos para confrontar esse problema esta mostrada na próxima sessão.

3.2.1 Suporte dos sensores

Para fixar todos os sensores e componentes eletrônicos de maneira organizada foi desenhada uma estrutura em forma de prateleira na qual é possível anexar a grande parte dos sensores do sistema de Percepção.

A primeira prateleira comporta os sensores do sistema de georreferenciamento que são o GPS e a IMU. A prateleira central foi projetada para a placa de interface Nucleo F401RE que recebe os dados da câmera IR. Por último, na terceira prateleira fica a placa de interface Phidgets para reunir os dados dos diferentes componentes e enviar para a NUC que é a unidade de processamento central do robô.

As peças foram fabricadas utilizando impressão 3D e o seu desenho pode ser visto nas Figura 4.30 e 4.31 .

A parte de gerenciamento enérgico do robô foi alocada em uma estrutura na parte

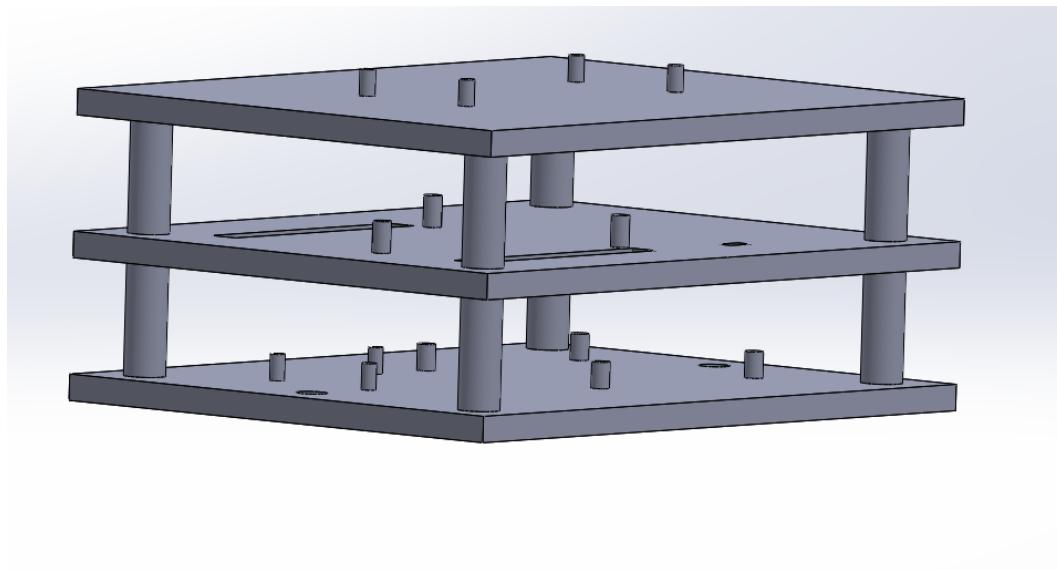


Figura 3.2: Prateleira para suporte dos componentes eletrônicos

inferior do mesmo. Esta estrutura foi projetada para comportar as baterias, a *Smart Charger*, a *Power Management* e a placa de interface Nucleo L432. O desenho dessa estrutura está mostrado na figura [4.32](#).

3.3 **Modelo esquemático de alimentação e comunicação**

A alimentação do sistema é proveniente de duas baterias LiPo que fornecem tensão de alimentação em 14V. Todo o gerenciamento de energia do sistema é feita pela *Power Management Board*, esta placa é responsável por distribuir a alimentação de entrada para os demais subsistemas da Percepção.

A placa de interface Phidgets além de funcionar como *hub* para uma grande parte dos sensores também é responsável por compatibilizar o nível de tensão para os componentes eletrônicos, fornecendo 5V para as placas microprocessadas, sensores e a alimentação de todas as portas USBs.

A comunicação entre os sistemas da Percepção ocorrem na maior parte através da Phidgets, já que esta placa de interface concentra as informações oriundas de suas portas USB, entrada digitais e entradas analógicas em uma única porta USB para a unidade central de processamento.

A câmera térmica e a os dynamixels possuem portas exclusivas de comunicação com a unidade central devido seu grau de criticidade.

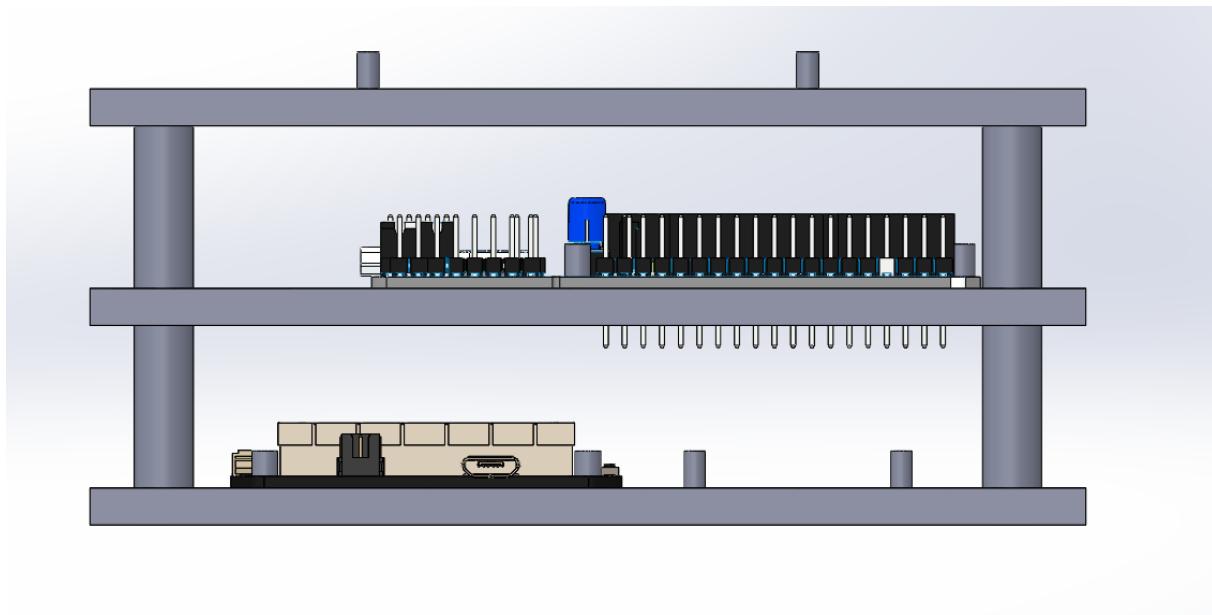


Figura 3.3: Prateleira para suporte com sensores

3.3.1 Diagramas elétricos e eletrônicos

O diagrama elétrico do sistema está disponível no apêndice C. Neste diagrama encontram-se todas as conexões elétricas e de comunicação bem como as especificações de conectores e cabos utilizados no projeto.

O esquemático eletrônico realizado pela equipe foi uma placa hub de 5V para alimentação dos sensores de proximidade, visto que a Phidgets possui apenas umas saída de tensão em 5V disponibilizada.

Nesta placa foram colocados os *pin headers* para cada sensor de proximidade, fornecendo alimentação e disponibilizando os pinos digitais dos sensores em um conector Molex.

O esquemático eletrônico e *board* estão mostrados no anexo C.

3.4 Especificação das funcionalidades

As funcionalidades de um robô descrevem os subsistemas e a lógica de operação dos mesmos. No ELIR, o sistema de Percepção possui três funcionalidades principais: Aquisição, Localização e Detecção. A descrição de cada funcionalidade e seu diagrama de funcionamento estão mostrados nos subtópicos a seguir.

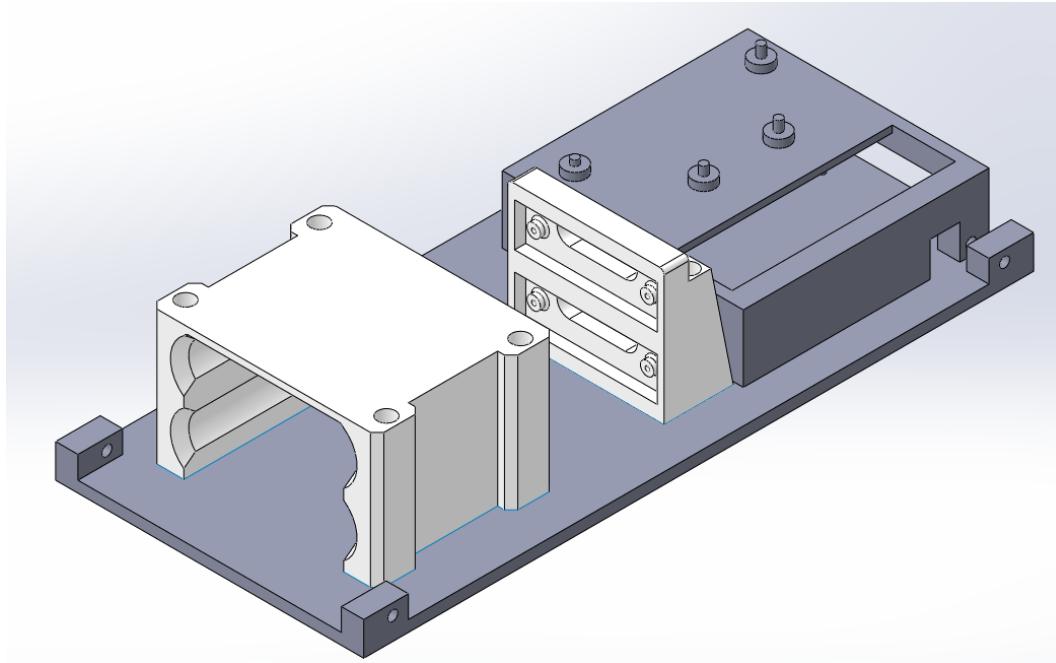


Figura 3.4: Prateleira para suporte dos componentes de alimentação

3.4.1 Aquisição

O processo de aquisição de dados envolve a comunicação dos sensores com seus respectivos drivers no ambiente ROS e a disponibilização dos dados para as outras funcionalidades do sistema.

Os sensores analógicos e digitais terão seus dados tratados pelo driver da interface Phidgets no ambiente ROS. Para os dispositivos relacionados a localização como o GPS e a IMU, serão utilizados drivers já disponibilizados pelos fabricantes.

No caso dos componentes que trabalham com os protocolos de comunicação SPI ou I2C, como é o caso da câmera térmica e da *Smart Charger*, serão utilizadas duas interfaces baseadas em ARM com um *firmware* embarcado para a conversão dos dados para o protocolo UART.

A interface microprocessada utilizada para obter dados da câmera térmica possui uma porta USB dedicada na unidade de processamento Intel NUC. Já a outra interface microprocessada para a *Smart Charger* será conectada a uma porta USB da Phidgets.

No ambiente ROS do projeto há um *package* exclusivo para receber os dados convertidos da câmera térmica, um *package* para receber dados de todos os sensores conectados a Phidgets, um *package* para recebimento de dados da *Smart Charger* e por último um *package* exclusivo para interface gráfica. Pode-se observar o fluxograma da aquisição na Figura 4.2

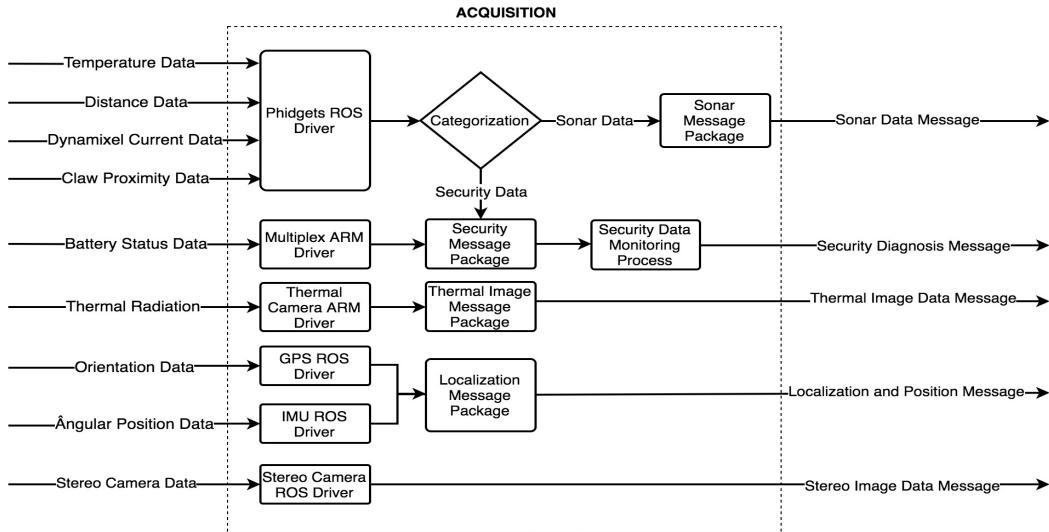


Figura 3.5: Fluxograma da Funcionalidade Aquisição

Para correta execução desta funcionalidade é necessário o funcionamento dos sensores segundo o nível de prioridade dos mesmos. Logo, um estudo de casos de falhas para cada sensor foi realizado, no qual foi definido um nível de criticidade de acordo com o impacto de sua função no sistema como um todo. Foram elaborados três níveis de criticidade:

- Level 1 - Sensores com impacto crítico na operação. Em casos de falha, a inspeção não poderá ser realizada.
- Level 2 - Sensores com impacto médio na operação. Em caso de falha, a inspeção poderá ser realizada de forma parcial.
- Level 3 - Sensores com impacto leve na operação. Em caso de falha, não haverá dados de monitoramento da situação de temperatura e consumo energético do robô, porém a inspeção poderá continuar normalmente.

Na figura abaixo, pode-se observar os sensores e suas categorias.

3.4.1.1 Objetivo

Realizar a comunicação e a aquisição dos dados provenientes da câmera térmica, sensores de proximidade, sonar, GPS, IMU, sensor de temperatura, *Smart Charger* e sensores de corrente.

Grau de Criticidade dos Sensores	
Level 1	<ul style="list-style-type: none"> • FLIR LWIR Thermal Camera • Claw proximity sensors
Level 2	<ul style="list-style-type: none"> • EZ-1 Sonar • GPS • IMU
Level 3	<ul style="list-style-type: none"> • Temperature Sensor - LM35 • Multiplex Board • Current Sensors

Figura 3.6: Nível de criticidade dos sensores

3.4.1.2 Dependências

Esta funcionalidade não é dependente de nenhum outro processo.

3.4.1.3 Premissas

- A interface microcontrolada Nucleo STM32F401RE deve estar com firmware embarcado para conversão de dados SPI para UART.
- A câmera térmica deverá estar conectada à interface Nucleo STM32F401RE
- A câmera stereo deve está conectada à NUC através da porta USB
- Os sensores de temperatura, corrente e sonar devem estar conectados as entradas analógicas da interface Phidgets
- Os sensores de proximidade devem estã conectados as entradas digitais da placa de interface Phidgets
- O GPS e a IMU devem estar conectados a portas USB da Phidgets
- As placas de interface devem estar energizadas.

3.4.1.4 Saídas

Esta funcionalidade possui quatro saídas:

- *Sonar Data Message*: Mensagem de saída exclusiva para os dados do sonar EZ-1.
- *Secutiry Diagnose Message*: Mensagem contendo todos os dados relacionados à segurança e integridade do robô.
- *Thermal Image Data Message*: Mensagem exclusiva para os dados da câmera térmica.
- *Localization and Position Message*: Mensagem contendo os dados relacionados á localização e posicionamento angular do robô.

3.4.2 Localização

O sistema de localização envolve o monitoramento da posição latitudinal e longitudinal do robô, assim como a posição angular através do GPS e da IMU respectivamente.

A localização é um package que ao receber uma requisição de informação, coleta os dados de posicionamento e orientação do robô provenientes do sistema de Aquisição e encaminha para o sistema que requisitou.

O fluxograma deste funcionalidade pode ser visto na Figura 4.3

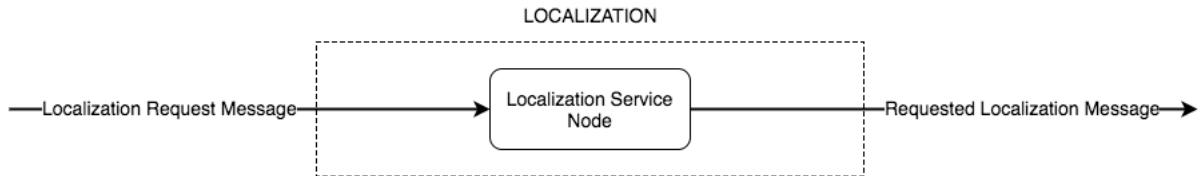


Figura 3.7: Fluxograma da Funcionalidade Localização

3.4.2.1 Objetivo

O objetivo desta funcionalidade é disponibilizar os dados de Localização do robô no ambiente ROS para a funcionalidade de Detecção.

3.4.2.2 Dependências

O sistema de localização depende dos dados de posicionamento e orientação disponibilizados pelo sistema de Aquisição.

3.4.2.3 Premissas

- O sistema de Aquisição deve estar funcionando corretamente até o Nível 2 de criticidade dos sensores.
- GPS e IMU estão posicionados em uma estrutura rígida e com o menor vibração possível.

3.4.2.4 Saídas

- *Requested Localization Message*: Mensagem que informa os dados de localização para o sistema que os requisitou.

3.4.3 Detecção

A detecção é a funcionalidade responsável por identificar a presença de pontos quentes na linha de transmissão bem como de objetos na faixa de servidão. Ao identificar um destes elementos, o sistema solicita da funcionalidade de Localização os dados posicionamento e orientação do robô e envia uma mensagem de alerta.

A mensagem de detecção de um ponto quente informa a localização do robô e a localização do objeto no frame de imagem. Por isso recebe a mensagem de detecção de obstáculos.

A mensagem de detecção de objetos na faixa de servidão informa a distância da cota da linha até o objeto e a localização do mesmo.

3.4.3.1 Objetivo

O objetivo desta funcionalidade é coletar as informações provenientes da câmera infravermelha e do sonar, como presença de pontos quentes e objetos presentes na área de servidão.

3.4.3.2 Dependências

O sistema de detecção depende dos dados do sonar e dos *frames* da câmera térmica disponibilizados pelo sistema de Aquisição. Além disto, depende do sistema de Localização para adquirir informações de posicionamento e orientação do robô.

3.4.3.3 Premissas

- O sistema de Aquisição deve estar funcionando corretamente até o Nível 2 de criticidade dos sensores.
- A câmera térmica deve estar calibrada e posicionada com ângulo de visão para as linhas de transmissão e seus obstáculos
- O sonar deve estar posicionado de forma a monitorar objetos abaixo da linha de transmissão.

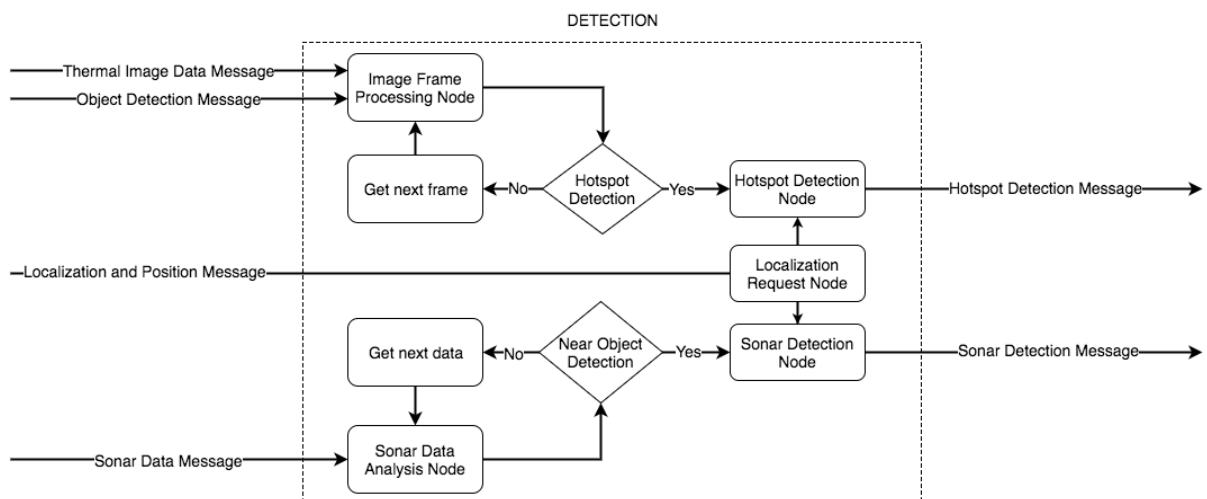


Figura 3.8: Fluxograma da Funcionalidade Detecção

3.4.3.4 Saídas

- *Hotspot Detection Message*: Mensagem que informa a detecção de um ponto quente e informa a sua localização na imagem e localização do robô na linha.
- *Sonar Detection Message*: Mensagem que informa a detecção de objetos na faixa de servidão e sua localização na linha.

3.5 Interface do Usuário

A interface do usuário é uma forma de expor graficamente as variáveis mais importantes do sistema robótico e quais atividades estão sendo executadas. Ela permite dar previsibilidade ao usuário do comportamento do sistema.

No ELIR a interface do usuário tem o papel de informar cinco características principais:

- *System Integrity*
- *Robot Status*
- *Thermal view*
- *Occurrences*
- *Actuators Information*

No campo de *System Integrity* são exibidos em tempo real as variáveis de grande impacto na eficiência e integridade do sistema. Por isso são informados os dados de temperatura, percentual de carga da bateria, consumo, localização e orientação do robô.

O *Robot Status Display* exibe o posicionamento das garras do robô na linha de transmissão. A coloração vermelha indica as garras foras da linha enquanto que a coloração verde indica as garras apoiadas na linha. Essa informação proveniente dos sensores de proximidade é de extrema importância para integridade física do robô.

O *Thermal View* exibe em tempo real os frames da câmera IR, permitindo o usuário acompanhar a detecção de pontos quentes e visualizar o perfil de temperatura da área exibida.

O campo de *Occurrences* mostra as principais ocorrências daquele momento, mostrando eventos de sobretemperatura, sobrecorrente, detecção de pontos quentes e detecção de objetos na área de servidão. Todos os eventos são mostrados com data, horário e localização gps.

Desenvolvimento e Testes

A etapa de desenvolvimento busca concretizar o planejamento e conceito elaborados na fase de Conceitual e Design. Nesta etapa são mostrados todas as produções técnicas da equipe como previstas no capítulo 3. As próximas seções buscam descrever o que foi realizado e os resultados obtidos durante o processo.

Para validar o funcionamento de um sistema é necessário a realização de testes com embasamento estatístico que comprove as suas funcionalidades. Por isso, neste capítulo também são descritos os procedimentos de testes realizados e os resultados obtidos com eles.

4.1 Especificação das funcionalidades

As funcionalidades de um robô descrevem os subsistemas e a lógica de operação dos mesmos. No ELIR, o sistema de Percepção possui três funcionalidades principais: Aquisição, Localização e Detecção. A descrição de cada funcionalidade e seu diagrama de funcionamento estão mostrados nos subtópicos a seguir.

4.1.1 Aquisição

O processo de aquisição de dados envolve a comunicação dos sensores com seus respectivos drivers no ambiente ROS e a disponibilização dos dados para as outras funcionalidades do sistema.

Os sensores analógicos e digitais terão seus dados tratados pelo driver da interface Phidgets no ambiente ROS. Para os dispositivos relacionados a localização como o GPS e a IMU, serão utilizado drivers já disponibilizados pelos fabricantes.

No caso dos componentes que trabalham com os protocolos de comunicação SPI ou I2C, como é o caso da câmera térmica e da *Smart Charger*, serão utilizadas duas interfaces baseadas em ARM com um *firmware* embarcado para a conversão dos dados para o protocolo UART.

A interface microprocessada utilizada para obter dados da câmera térmica possui

uma porta USB dedicada na unidade de processamento Intel NUC. Já a outra interface microprocessada para a *Smart Charger* será conectada a uma porta USB da Phidgets.

No ambiente ROS do projeto há um *package* exclusivo para receber os dados convertidos da câmera térmica, um *package* para receber dados de todos os sensores conectados a Phidgets, um *package* para recebimento de dados da *Smart Charger* e por último um *package* exclusivo para interface gráfica. Pode-se observar o fluxograma da aquisição na Figura 4.2

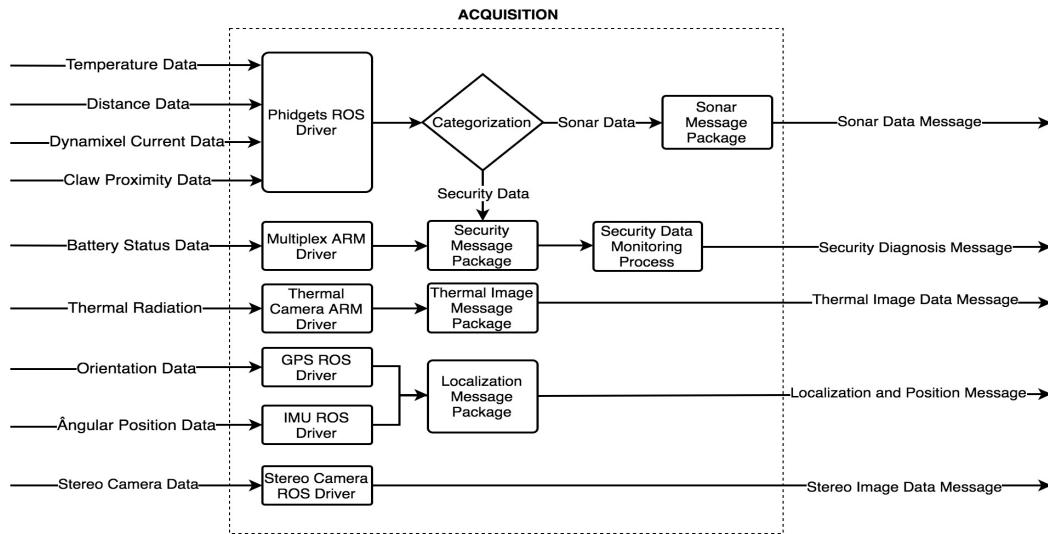


Figura 4.1: Fluxograma da Funcionalidade Aquisição

Para correta execução desta funcionalidade é necessário o funcionamento dos sensores segundo o nível de prioridade dos mesmos. Logo, um estudo de casos de falhas para cada sensor foi realizado, no qual foi definido um nível de criticidade de acordo com o impacto de sua função no sistema como um todo. Foram elaborados três níveis de criticidade:

- Level 1 - Sensores com impacto crítico na operação. Em casos de falha, a inspeção não poderá ser realizada.
- Level 2 - Sensores com impacto médio na operação. Em caso de falha, a inspeção poderá ser realizada de forma parcial.
- Level 3 - Sensores com impacto leve na operação. Em caso de falha, não haverá dados de monitoramento da situação de temperatura e consumo energético do robô, porém a inspeção poderá continuar normalmente.

Na figura abaixo, pode-se observar os sensores e suas categorias.

Grau de Criticidade dos Sensores	
Level 1	<ul style="list-style-type: none"> • FLIR LWIR Thermal Camera • Claw proximity sensors
Level 2	<ul style="list-style-type: none"> • EZ-1 Sonar • GPS • IMU
Level 3	<ul style="list-style-type: none"> • Temperature Sensor - LM35 • Multiplex Board • Current Sensors

Figura 4.2: Nível de criticidade dos sensores

4.1.1.1 Objetivo

Realizar a comunicação e a aquisição dos dados provenientes da câmera térmica, sensores de proximidade, sonar, GPS, IMU, sensor de temperatura, *Smart Charger* e sensores de corrente.

4.1.1.2 Dependências

Esta funcionalidade não é dependente de nenhum outro processo.

4.1.1.3 Premissas

- A interface microcontrolada Nucleo STM32F401RE deve estar com firmware embarcado para conversão de dados SPI para UART.
- A câmera térmica deverá estar conectada à interface Nucleo STM32F401RE
- A câmera stereo deve estar conectada à NUC através da porta USB
- Os sensores de temperatura, corrente e sonar devem estar conectados as entradas analógicas da interface Phidgets
- Os sensores de proximidade devem estar conectados as entradas digitais da placa de interface Phidgets
- O GPS e a IMU devem estar conectados a portas USB da Phidgets

- As placas de interface devem estar energizadas.

4.1.1.4 Saídas

Esta funcionalidade possui quatro saídas:

- *Sonar Data Message*: Mensagem de saída exclusiva para os dados do sonar EZ-1.
- *Secutiry Diagnose Message*: Mensagem contendo todos os dados relacionados à segurança e integridade do robô.
- *Thermal Image Data Message*: Mensagem exclusiva para os dados da câmera térmica.
- *Localization and Position Message*: Mensagem contendo os dados relacionados á localização e posicionamento angular do robô.

4.1.2 Localização

O sistema de localização envolve o monitoramento da posição latitudinal e longitudinal do robô, assim como a posição angular através do GPS e da IMU respectivamente.

A localização é um package que ao receber uma requisição de informação, coleta os dados de posicionamento e orientação do robô provenientes do sistema de Aquisição e encaminha para o sistema que requisitou.

O fluxograma deste funcionalidade pode ser visto na Figura 4.3

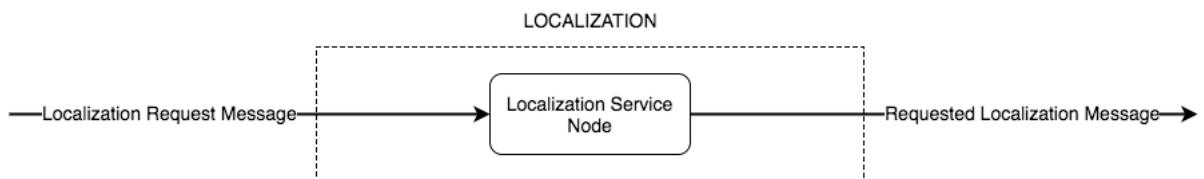


Figura 4.3: Fluxograma da Funcionalidade Localização

4.1.2.1 Objetivo

O objetivo desta funcionalidade é disponibilizar os dados de Localização do robô no ambiente ROS para a funcionalidade de Detecção.

4.1.2.2 Dependências

O sistema de localização depende dos dados de posicionamento e orientação disponibilizados pelo sistema de Aquisição.

4.1.2.3 Premissas

- O sistema de Aquisição deve estar funcionando corretamente até o Nível 2 de criticidade dos sensores.
- GPS e IMU estão posicionados em uma estrutura rígida e com o menor vibração possível.

4.1.2.4 Saídas

- *Requested Localization Message*: Mensagem que informa os dados de localização para o sistema que os requisitou.

4.1.3 Detecção

A detecção é a funcionalidade responsável por identificar a presença de pontos quentes na linha de transmissão bem como de objetos na faixa de servidão. Ao identificar um destes elementos, o sistema solicita da funcionalidade de Localização os dados posicionamento e orientação do robô e envia uma mensagem de alerta.

A mensagem de detecção de um ponto quente informa a localização do robô e a localização do objeto no frame de imagem. Por isso recebe a mensagem de detecção de obstáculos.

A mensagem de detecção de objetos na faixa de servidão informa a distância da cota da linha até o objeto e a localização do mesmo.

4.1.3.1 Objetivo

O objetivo desta funcionalidade é coletar as informações provenientes da câmera infravermelha e do sonar, como presença de pontos quentes e objetos presentes na área

de servidão.

4.1.3.2 Dependências

O sistema de detecção depende dos dados do sonar e dos *frames* da câmera térmica disponibilizados pelo sistema de Aquisição. Além disto, depende do sistema de Localização para adquirir informações de posicionamento e orientação do robô.

4.1.3.3 Premissas

- O sistema de Aquisição deve estar funcionando corretamente até o Nível 2 de criticidade dos sensores.
- A câmera térmica deve estar calibrada e posicionada com ângulo de visão para as linhas de transmissão e seus obstáculos
- O sonar deve estar posicionado de forma a monitorar objetos abaixo da linha de transmissão.

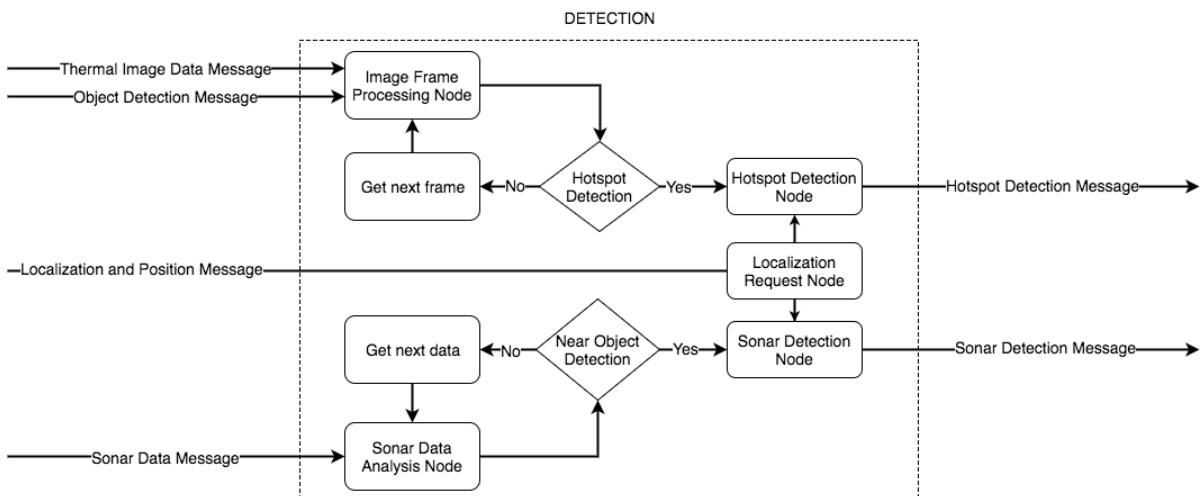


Figura 4.4: Fluxograma da Funcionalidade Detecção

4.1.3.4 Saídas

- *Hotspot Detection Message*: Mensagem que informa a detecção de um ponto quente e informa a sua localização na imagem e localização do robô na linha.
- *Sonar Detection Message*: Mensagem que informa a detecção de objetos na faixa de servidão e sua localização na linha.

4.2 Interface do Usuário

A interface do usuário é uma forma de expor graficamente as variáveis mais importantes do sistema robótico e quais atividades estão sendo executadas. Ela permite dar previsibilidade ao usuário do comportamento do sistema.

No ELIR a interface do usuário tem o papel de informar cinco características principais:

- *System Integrity*
- *Robot Status*
- *Thermal view*
- *Ocurrences*
- *Actuators Information*

No campo de *System Integrity* são exibidos em tempo real as variáveis de grande impacto na eficiência e integridade do sistema. Por isso são informados os dados de temperatura, percentual de carga da bateria, consumo, localização e orientação do robô.

O *Robot Status Display* exibe o posicionamento das garras do robô na linha de transmissão. A coloração vermelha indica as garras foras da linha enquanto que a coloração verde indica as garras apoiadas na linha. Essa informação proveniente dos sensores de proximidade é de extrema importância para integridade física do robô.

O *Thermal View* exibe em tempo real os frames da câmera IR, permitindo o usuário acompanhar a detecção de pontos quentes e visualizar o perfil de temperatura da área exibida.

O campo de *Ocurrences* mostra as principais ocorrências daquele momento, mostrando eventos de sobretemperatura, sobrecorrente, detecção de pontos quentes e detecção de objetos na área de servidão. Todos os eventos são mostrados com data, horário e localização GPS.

4.3 Lista de materiais

No sistema de Percepção os sensores atuam como os sentidos do robô, recebendo dados externos e informando a unidade central de processamento os seus significados.

Quanto maior o número de grandezas físicas analisadas, mais complexo o sistema de Percepção e maior a sua capacidade de compreensão.

Os sensores que compõem o sistema de Percepção do robô ELIR foram escolhidos com base nas necessidades de cada funcionalidade do sistema e disponibilidade do componente na própria instituição. A lista de componentes utilizada está mostrada na Figura 4.5. Os preços mostrados não refletem o custo do projeto uma vez que os materiais utilizados são pertencentes ao SENAI CIMATEC. Os valores mostrados são preços médios do produto encontrados na página dos fornecedores.

Item	Description	Manufacturer	Part Number	power/current	connection	unit cost [R\$]	quantity	total cost [R\$]
01	interface board	Phidgets	1019_1B	500mA (max)	USB	R\$ 272,00	1	R\$ 272,00
02	proximity sensor	ETT CO. Ltd	E18-D80NK npn	<25mA	Digital Output	R\$ 29,00	5	R\$ 145,00
03	temperature sensor	Texas Instruments	LM35	10mA	Analog Output	R\$ 7,38	1	R\$ 7,38
04	gps	Swift Navigation	Piksi 2.3.1	5V, 500mW	USB	R\$ 3.398,00	1	R\$ 3.398,00
05	imu	XSENS	Mti-1	44mW	USB	R\$ 1.597,50	1	R\$ 1.597,50
06	ultrassonic sensor	Maxbotix	EZ-1	5V, 2mA	Analog Output	R\$ 107,82	1	R\$ 107,82
08	lwir camera	FLIR	Lepton 1.0	140mW	I2C	R\$ 812,50	1	R\$ 812,50
09	bridge board I	STMicroelectronics	STM32F401 RE	160mA/0.64W	USB	R\$ 49,79	1	R\$ 49,79
10	bridge board II	STMicroelectronics	STM32L432KC	140mA/0.56W	USB	R\$ 39,56	1	R\$ 39,56
11	battery	Inspired Energy	NH2054HD34	89Wh/6,2Ah	SMBus	R\$ 879,98	2	R\$ 1.759,97
12	power management board	SENAI CIMATEC	-	-	USB	R\$ 2.200,00	1	R\$ 2.200,00
13	smart charger for battery	Inspired Energy	EB325A	15mA/0.36W	SMBus	R\$ 1.296,00	1	R\$ 1.296,00
14	central processing	Intel	NUC515RYK	15W/12V	USB	R\$ 4.300,00	1	R\$ 4.300,00
15	cabo usb	-	-	-	USB	R\$ 10,00	2	R\$ 20,00
							Total:	R\$ 15.985,52

Figura 4.5: Lista de materiais utilizados no sistema de Percepção do robô ELIR

4.3.1 Descrição dos componentes

A Phidgets é uma placa de interface que concentra os dados provenientes de suas portas digitais, analógicas e USBs em uma única porta USB. Ela atua como um hub concentrando todas as informações em um único local. No ELIR a placa é utilizada para concentrar as informações do sonar, sensores de proximidade, baterias, GPS e IMU em uma única porta USB a ser conectada na unidade central de processamento. A sua utilização é importante por conta da limitação de portas USBs na unidade de processamento central.

As placas Nucleo STM32F401RE e Nucleo STM32L432 são placas de desenvolvimento para aplicações utilizando o microprocessador ARM. No ELIR a placa Nucleo STM32F401RE é utilizada para converter os dados provenientes da câmera térmica em protocolo SPI para o protocolo USB. A família F4 foi utilizada pois pode atingir clocks de 20GHz, é necessário um microprocessador que consiga atingir esta faixa de clock para ter sincronia com o módulo da câmera. A placa possui um canal de comunicação exclusivo com a unidade central de processamento.

Já a placa Nucleo STM32L432 é utilizada para conversão das informações proveni-

entes das baterias em protocolo SMBus para o protocolo USB. Esta placa é conectada a uma porta USB da Phidgets. Para a execução desta atividade não é necessário um microprocessador de alto desempenho e por isso a família L4 foi escolhida por ter baixo consumo de energia.

O sensor E18D80-NK é um sensor de proximidade infravermelho, ele é utilizado no ELIR para identificar se as garras do robô estão apoiadas na linha de transmissão. A saída do sensor é digital e o estado do pino de dados indica a presença ou ausência de um objeto. Foi realizada uma pesquisa dos sensores de proximidade no mercado e este sensor foi escolhido por ser de baixo custo, compacto e pode ser utilizado em superfícies metálicas.

O sensor EZ1 da MaxBotix é um sonar. Ele é utilizado no projeto para monitorar objetos dentro da faixa de servidão. Foi utilizado o EZ1 por ele cumprir com os requisitos do cliente do alcance da área de servidão, ter compatibilidade com a Phidgets e estava disponível na área.

O sensor de temperatura LM35 é utilizado no projeto para medição da temperatura na estrutura interna do robô. Ele foi escolhido por ter resposta linear e ser de baixo custo.

O GPS SwiftNav Piksi é utilizado no projeto para obter informações de latitude e longitude quando detectado alguma anormalidade. Enquanto a IMU Xsens Mt-1 é utilizada no projeto para obter informações dos ângulos de orientação do robô. Estes módulos são superdimensionados para a aplicação inicial do projeto, ainda assim os mesmos foram utilizados por terem disponibilidade na instituição e possuirem drivers para o ambiente ROS disponibilizados pelo fabricante.

As baterias NH2054 da Inspired Energy são células de 14V para alimentação do sistema de Percepção. Elas são baterias inteligentes que fornecem informações de temperatura, tensão, corrente e capacidade das células. Foram escolhidas pela quantidade de informações que podem fornecer.

A Power Management Board é uma placa de gerenciamento de energia do sistema robótico, ela distribui a tensão proveniente das baterias para todos os sensores.

A intel NUC 515RYK é a unidade de processamento central do sistema de Percepção, ela recebe as informações de todos os sensores do sistema de Percepção e os interpreta.

4.4 Testes unitários

Como mostrado no capítulo 3, os teste unitários servem para comprovar o funcionamento dos sensores definidos para o sistema de Percepção além de validar que os mesmos atendem os requisitos técnicos do projeto.

O teste unitário é singular para cada sensor uma vez que cada um deles possui uma forma distinta de funcionamento. Por tanto, os testes unitários são definidos com o nome do sensor o qual o teste será aplicado. A descrição dos testes e os resultados obtidos estão mostrados nas próximas seções.

4.4.1 Câmera Térmica

A câmera térmica foi utilizada no sistema de percepção para detecção de pontos quentes. O modelo utilizado no projeto foi a Lepton, da fabricante FLIR, que é um módulo completo baseado no infra-vermelho de ondas longas feito para ser embutido em dispositivos eletrônicos. O módulo captura radiação térmica na faixa de comprimento de onda de 8-14 micrômetros, tendo como saída uma imagem térmica, a qual a coloração representa a intensidade de radiação infra-vermelha emitida pelo objeto inspecionado.

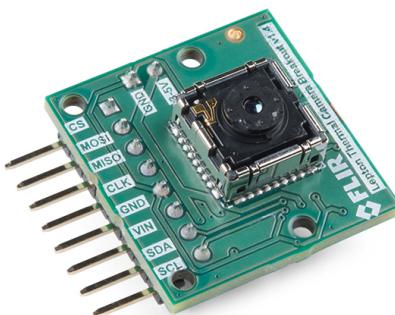


Figura 4.6: Lepton LWIR

A comunicação com a câmera é feita via protocolo VoSPI, sendo necessário a utilização de um driver para adquirir os dados e transmiti-los em protocolo USB para a NUC. Um driver para conversão desses dados foi disponibilizado por [Gyver et al. \(2017\)](#) no GitHub, e foi utilizado no projeto em uma placa de desenvolvimento NUCLEO F401RE.

O driver de comunicação coleta os *frames* e verifica a integridade de cada *pixel*, após isso, envia-os para a USB da NUC seguindo o padrão de mensagem mostrado na Figura 4.7.

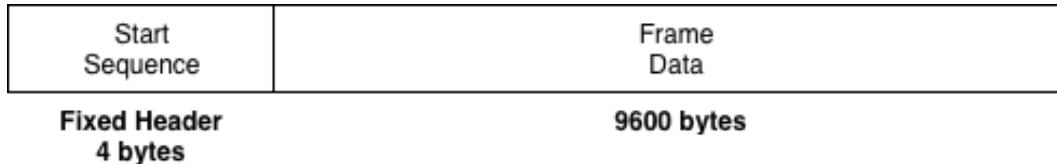
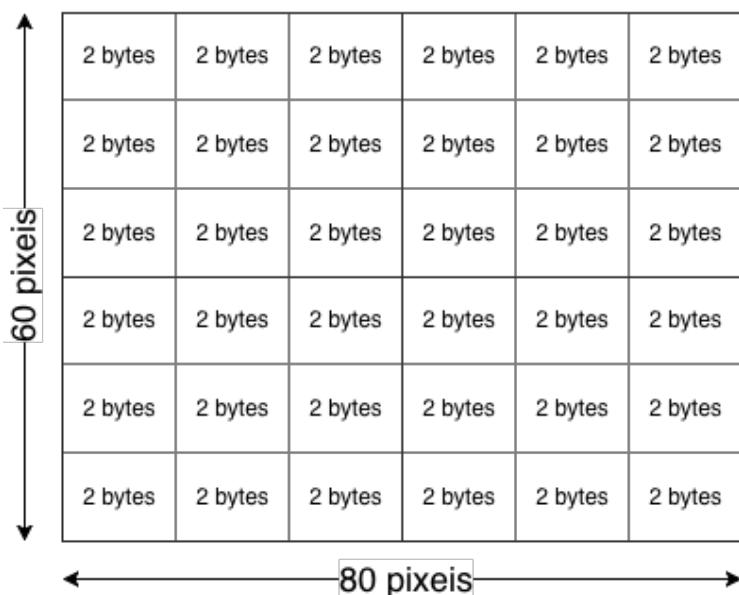


Figura 4.7: Mensagem do frame da câmera

No início de cada mensagem, há uma sequência de quatro *bytes* para confirmar a transferência dos dados. Após a confirmação por um *script* em Python no computador, inicia-se o processo de aquisição do *frame*. Cada *frame* é composto por 4800 *pixels*, sendo 80 na horizontal e 60 na vertical. Além disso, cada *pixel* possui 2 *bytes* de profundidade de cor, correspondendo a 9600 *bytes* de informação para cada *frame*. Na Figura 4.8, pode-se observar uma representação do *frame* da câmera.

Figura 4.8: Esquemático do *Frame* da Câmera Térmica

No *script* de aquisição de *frames*, cada *pixel* é convertido para uma escala de cinza de 8-bits (1 *byte*). Conversão necessária para trabalhar com a biblioteca de processamento de imagens OpenCV.

A OpenCV (Open Source Computer Vision Library) é uma biblioteca gratuita para operações de imagens tanto para uso acadêmico e para uso comercial, contendo interface para C++, Java e Python. A mesma foi desenvolvida com foco em eficiência computacional para sistemas de tempo real.

O processamento da imagem térmica pode ser dividido em três etapas: pré-processamento, realce e busca de contornos.

- Pré-processamento: refere-se ao processamento inicial de dados brutos para remoção

de ruído e redimensionamento.

- Realce: visa melhorar a qualidade da imagem, permitindo uma melhor discriminação dos objetos presentes na mesma.
- Na busca de contorno é utilizado algoritmos para buscar objetos brancos.

4.4.1.1 Pré-processamento

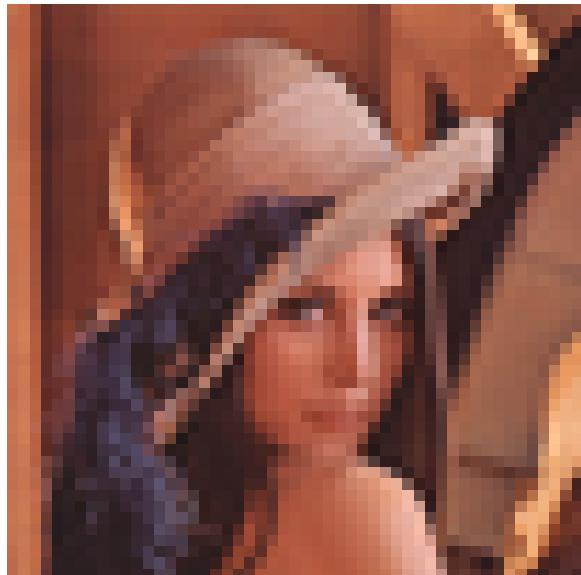
Primeiramente, a imagem da câmera de 80x60 pixeis é escalonada para uma imagem de 400x300 pixels, com objetivo de inseri-la, no final do processamento de imagem, na interface gráfica. Para isso, é utilizado uma interpolação bicúbica, utilizando quatro pixeis vizinhos para a operação. Em geral, esse método é melhor na preservação de detalhes finos em comparação com as outras interpolações. A diferença entre os três principais métodos podem ser vistas na figura 4.9.

As imagens capturadas por câmeras digitais nem sempre representam fielmente a realidade. Os sinais analógicos possuem ruídos, que são sinais interferentes de natureza aleatória que provoca a degradação do sinal de interesse durante seu processamento ([FA-BRIS, 2009](#)).

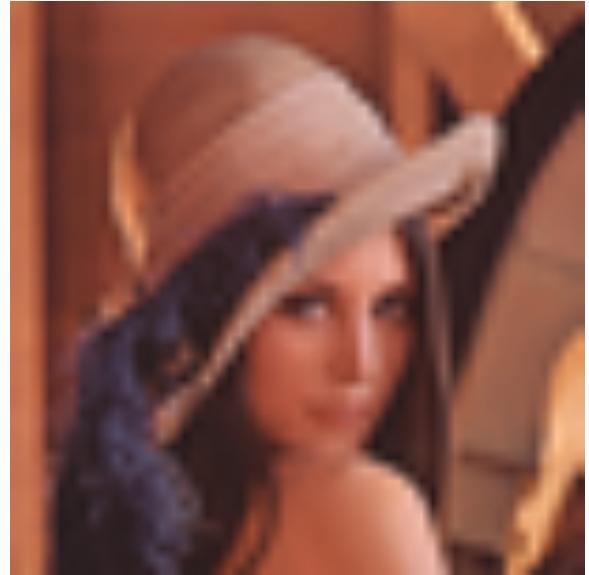
Em sistemas de captura de imagem, existem três categorias principais de ruído, que são os aleatórios, os sistemáticos e os chamados de *banding noise*. Os aleatórios são usualmente causados quando se utiliza o sensor com baixa exposição, ou seja, uma velocidade de captura muito alta, causando uma flutuação das cores sobre a atual intensidade da imagem. Os ruídos sistemáticos são causados geralmente por uma longa exposição do sensor a luz e por altas temperaturas. O *banding noise* é introduzido no momento em que o sensor está convertendo os dados analógicos para digital, e está diretamente relacionado ao tipo de tecnologia aplicada no mesmo (CCD ou CMOS). Na imagem abaixo, pode-se observar os três tipos de ruídos.

Antes de entrar na etapa de realce, é necessário atenuar esses ruídos da imagem, caso contrário, os mesmos também serão amplificados no procedimentos posteriores. As colorações em imagens não são perfeitamente uniformes contendo ruídos de altra frequência que devem ser removidos para não interferirem na análise. Para isso, foi utilizado um filtro passa-baixa comumente chamado de *blur*. Na figura 4.11, pode-se observar a imagem original.

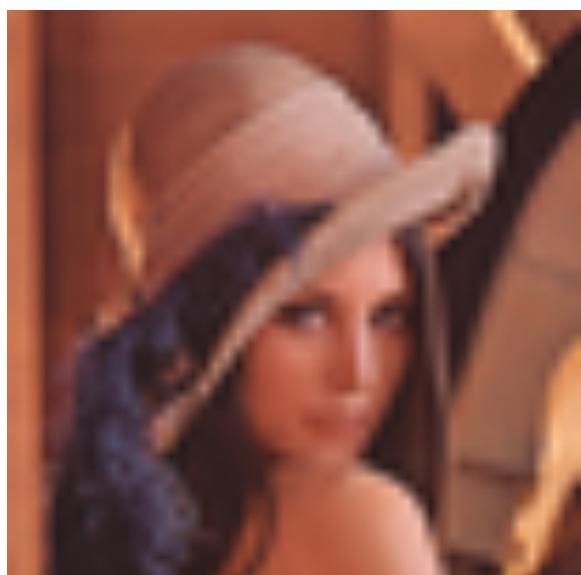
Basicamente, o filtro realiza uma convolução entre um operador e a imagem de interesse tirando uma média dos pixeis vizinhos. O operador é mostrado na Equação 4.1.



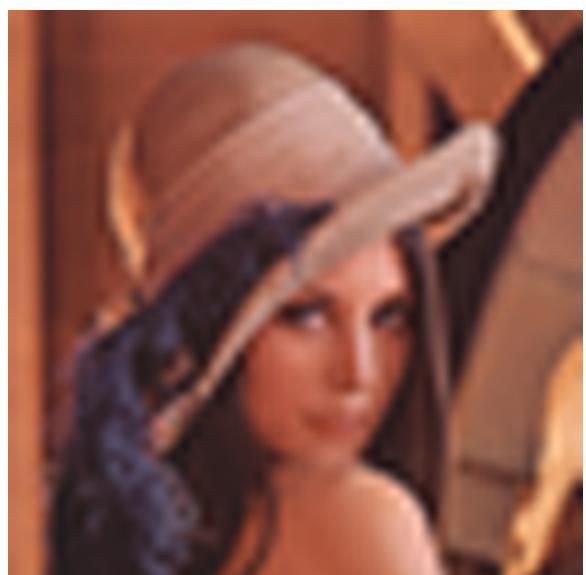
(a) Original Image



(b) Área



(c) Linear



(d) Cúbica

Figura 4.9: Comparação entre os métodos de interpolação

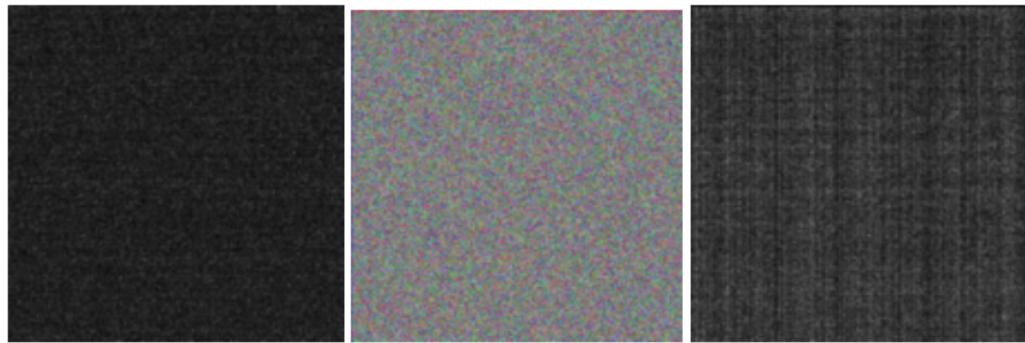


Figura 4.10: Exemplo de um ruídos em imagens. Aleatório, sistemático e banding, da esquerda para a direita.



Figura 4.11: Imagem Original

$$K = \frac{1}{25} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Essa matriz é fixada em cima de um *pixel*, e é somado o valor de todos os *pixels* dentro do operador. Após isso, é tirado uma média dos valores, substituindo o valor do *pixel* central por ela. A matriz age como uma janela que passa por toda a imagem.

No caso da Equação 4.1, é uma matriz unitária 5x5 multiplicada por uma constante igual ao inverso do quadrado da dimensão da mesma. A frequência de rejeição pode ser alterada ao aumentar ou diminuir a dimensão da matriz. Na Figura 4.12, pode-se observar o efeito do filtro.

Após o pré-processamento, pode-se dar inicio ao procedimento de realce dos dados

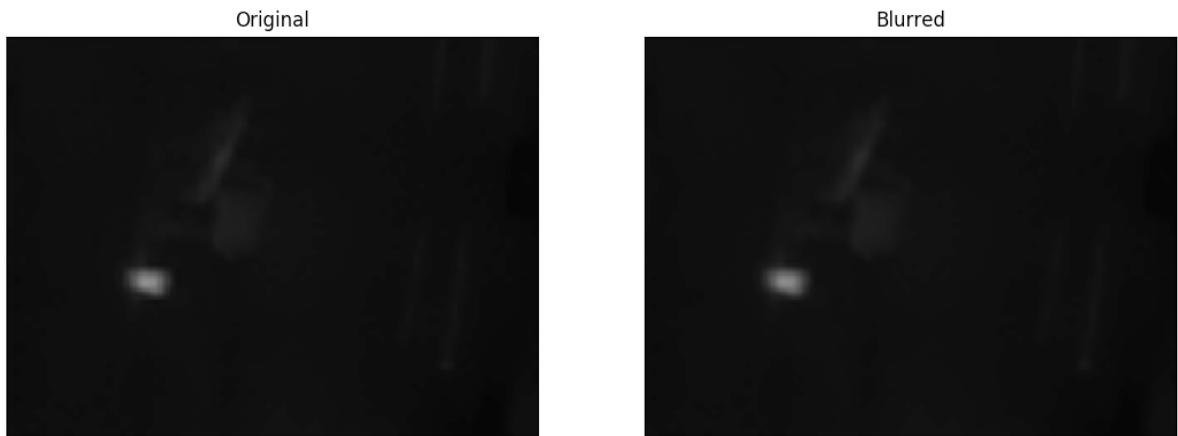


Figura 4.12: Imagem Original e após o filtro *blur*

relevantes da imagem.

4.4.1.2 Realce

Os algoritmos de detecção de contornos em imagens necessitam que as mesmas segmentadas, ou seja, que haja uma separação brusca entre a região de interesse e o plano de fundo. Para realçar os pontos quentes do plano de fundo, foi utilizado um método de segmentação chamado de *thresholding*, com objetivo de gerar imagens binárias.

Os métodos mais simples de *thresholding* substituem cada *pixel* de uma determinada imagem por preto, caso sua intensidade for menor que uma constante fixa, ou branco caso seja maior que essa mesma constante. O resultado é uma imagem segmentada com apenas valores de 0 e 255, caso a imagem seja de 8-bits.

O método citado anteriormente, chama-se binário. Existem outros métodos de *thresholding*, mas o uso de cada um depende da aplicação. Um exemplo de alguns métodos pode ser visto na Figura 4.13.

Como se pode observar, os métodos adaptativos deixam um contorno do ponto quente na imagem, diferente do binário que destaca-o. Com isso, o método binário foi utilizado para a segmentação das imagens térmicas.

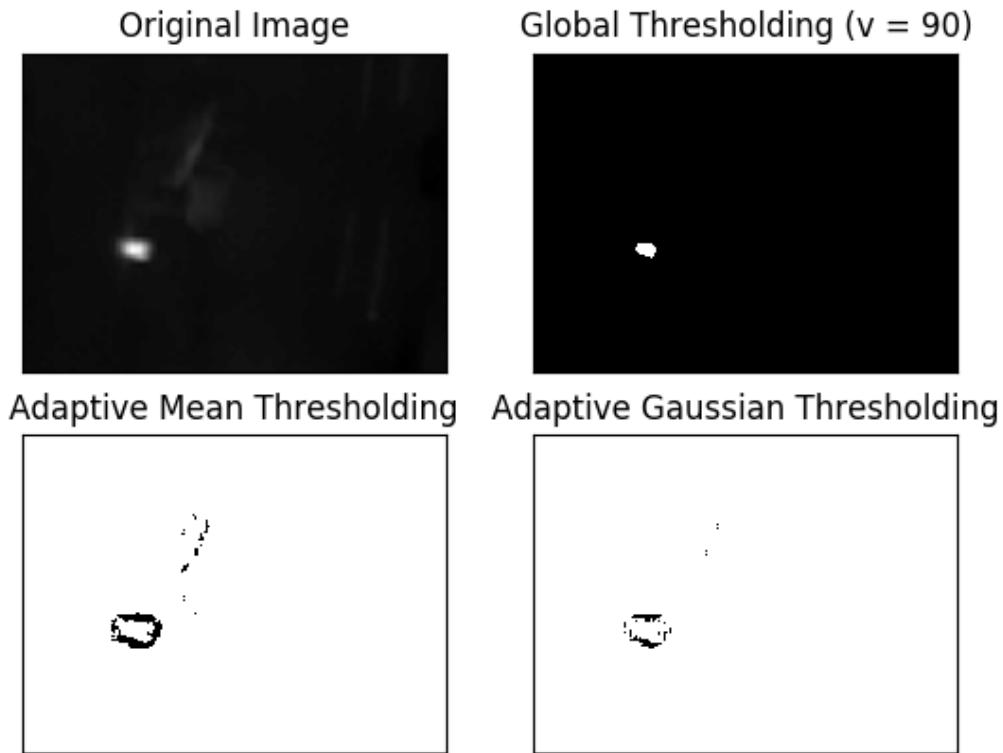


Figura 4.13: Comparaçāo entre os mētodos de *thresholding*

4.4.1.3 Busca de Contornos

A partir das imagens segmentadas, pode-se dar inicio ao algoritmo de busca de contornos. Os contornos podem ser explicados simplesmente como uma curva unindo todos os pontos de uma borda em uma região de mesma cor ou intensidade. A busca por contornos é uma ferramenta bastante útil para análise de geometria, direção, detecção e reconhecimento de padrões.

Como já foi abordado, para realizar a busca, é necessário o uso de imagens binárias, ou seja, segmentadas. Basicamente, a busca de contornos irá procurar regiões brancas em um fundo preto, e retornar os pontos de todas as curvas encontradas.

Para isso, foi utilizado uma aproximação simples, a qual comprime horizontalmente, verticalmente e diagonalmente todos os segmentos, deixando apenas os pontos da borda. Na Figura 4.14, pode-se observar o contorno ao redor do ponto quente.



Figura 4.14: Desenho do contorno em torno do objeto

4.4.1.4 Procedimento de Teste

O teste unitário da câmera térmica teve com objetivo a obtenção da relação de temperatura aferida de um objeto com o valor do *pixel* obtido pela câmera. Para isso, foi utilizado um copo plástico contendo água quente como fonte de calor e um pirômetro para medição da temperatura de referência.

A câmera foi posicionada de forma a obter imagens do copo, a medida que a temperatura do copo aferida pelo pirômetro sofria variação significativa, os *frames* da câmera foram obtidos para realizar uma correlação. O gráfico das medidas está mostrado na Figura 4.15 e 4.16.

Com base nos dados retirados no teste, foi possível realizar uma calibração da câmera térmica para a faixa de aproximadamente -40 até 475 graus Celsius. A equação retirada para essa aproximação está apresentada na Equação 4.2.

$$Pixel_{value} = \frac{Temperature + 40,67}{2,0214} \quad (4.2)$$

A Figura 4.17 e 4.18 mostra os gráficos de distribuição normal obtidos a partir dos dados do teste unitário da câmera IR. O p-valor mostrado nos gráficos, também conhecido como nível descritivo do teste, é a probabilidade de se observar um valor da estatística de teste maior ou igual ao encontrado. Um p-valor maior do que 0.1 indica

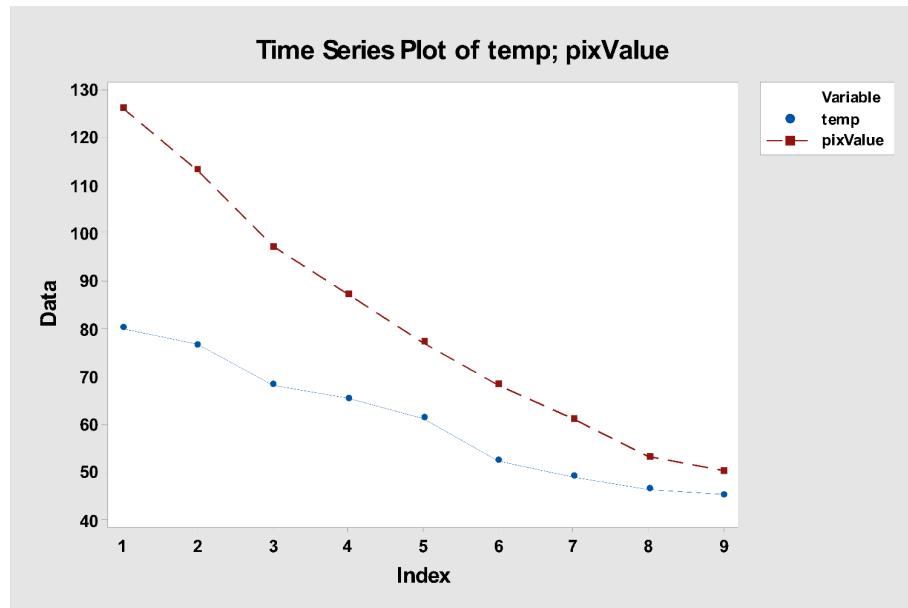


Figura 4.15: Dados obtidos durante o teste

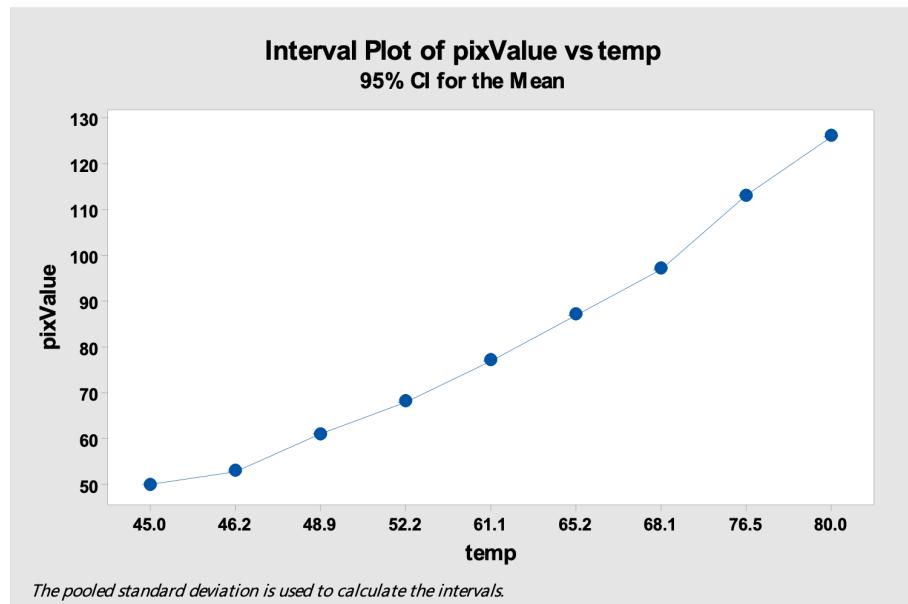


Figura 4.16: Correlação entre a temperatura e intensidade do pixel

correlação entre as grandezas analisadas do teste. Este resultado, comprova a relação entre a temperatura aferida pelo pirômetro com o valor do pixel encontrado para a região de imagem correspondente ao copo.

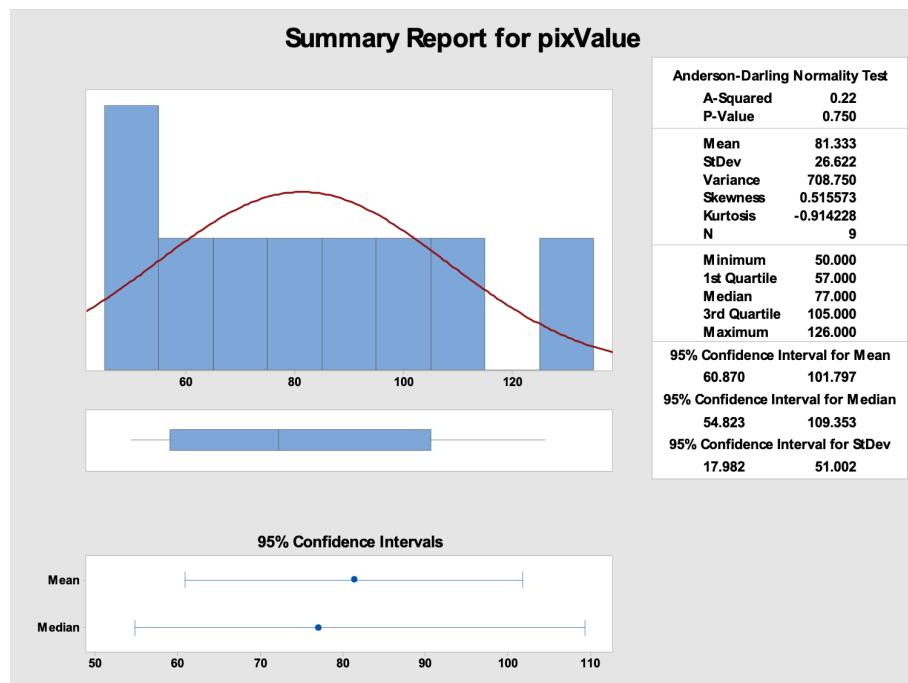


Figura 4.17: Distribuição normal dos dados de intensidade de cor dos pixels

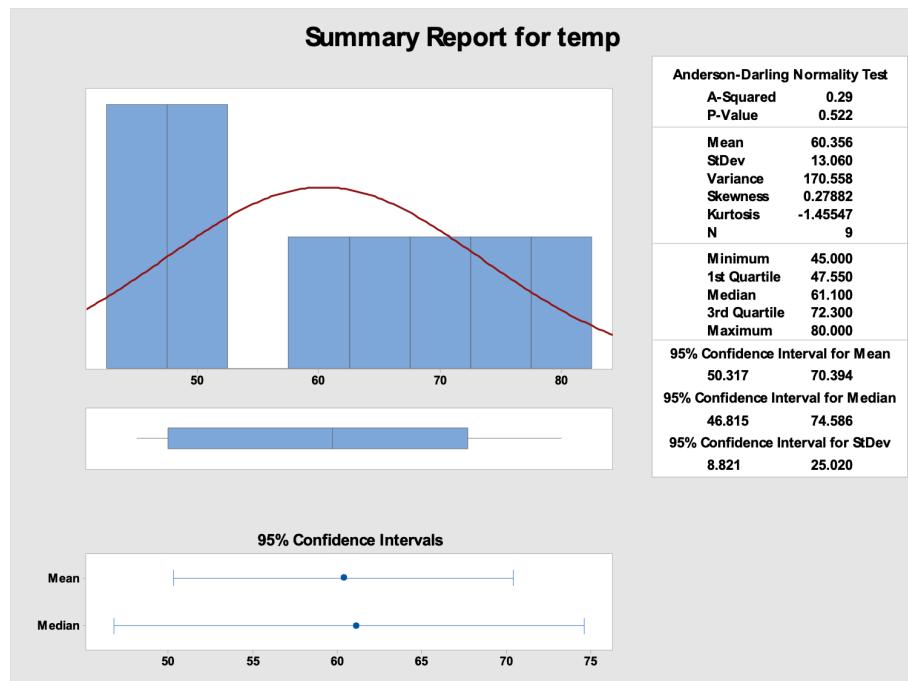


Figura 4.18: Distribuição normal dos dados de temperatura

4.4.2 Phidgets

Segundo o site da fabricante, a Phidgets é uma das interfaces com melhor usabilidade para controlar e monitorar o ambiente pelo computador. A placa contém 8 saídas e entradas digitais, 8 analógicas e 6 portas de USB. A Phidgets depende apenas de uma alimentação de 12V e ser conectada à um computador com o devido driver instalado.

O driver é multi-plataforma, sendo compatível com Windows, Linux e Mac OS X, além de possuir interfaces de programação em alto nível, como Python, C++, Java, LabVIEW, .NET e entre outras linguagens.

Após a fase de testes unitários, foi necessário desenvolver o *package* de comunicação da phidgets no ROS. Esse *package* é responsável pela aquisição dos dados de todos os sensores analógicos e digitais conectados a Phidgets.

Os nós foram desenvolvidos utilizando como base o módulo *python* da Phidgets. Ele consiste em uma classe e cada objeto desta, representa um componente conectado a placa de interface. Ao declarar o objeto, se faz necessário informar o canal, o nome do dispositivo, o tipo de porta (digital ou analógico) e o nome do tópico a ser disponibilizado os dados.

No construtor da classe os dados referentes aos dispositivos são coletados e um *publisher* do ROS é inicializado. Este *publisher* faz com que periodicamente os dados de tensão(canais analógicos) ou status da porta(canais digitais) sejam coletados e disponibilizados no tópico escolhido pelo usuário.

No script original foram criados seis objetos da classe no *main loop*, correspondentes aos cinco sensores de proximidade conectados a portas digitais e ao sonar conectado na porta analógica.

4.4.3 Sonar EZ-1

O sonar EZ-1 da MaxBotix possui saída analógica referente a distância medida. Para testá-lo, foi utilizada uma das entradas analógicas da Phidgets.

A comunicação da Phidgets com a NUC é feita via USB, contudo, é necessário a instalação dos drivers obrigatórios da placa no linux. Além disso, é necessário a instalação do módulo Python respectivo da placa, dessa forma, permitindo a utilização de classes e métodos para controle da comunicação com os sensores.

Com os respectivos drivers e módulos da phidgets instalados no computador, foi necessário apenas conectar os terminais alimentação e saída analógica do sensor nos conectores correspondentes da Phidgets e executar um *script* de leitura da tensão nas entradas analógicas fornecido pela própria fabricante.

O teste unitário do sonar teve como objetivo obter a relação da tensão de saída do pino analógico do sonar com a distância do obstáculo colocado a frente do mesmo.



Figura 4.19: Sonar EZ-1

O valor de tensão foram obtidos através do nó de aquisição de dados da Phidgets, obtendo assim, os valores de tensão obstáculos à 30cm, 60cm e 2,3m. Essas distâncias de referência foram aferidas com uma trena.

4.4.4 Sensor de Proximidade

O sensor de proximidade E18-D80NK funciona de maneira bastante simples. O módulo possui um emissor e um receptor de feixes infra-vermelhos, o qual identifica se há ou não um objeto próximo devido a reflexão, liberando assim, um sinal de nível alto caso positivo e nível baixo caso negativo.



Figura 4.20: Sensor de proximidade E18-D80NK

Por questão de sinalização, o fabricante adicionou um LED, que ao identificar algum objeto próximo, acende-se. Com isso, logo após alimentar o sensor já era possível ver o seu funcionamento. Entretanto, ainda era necessário verificar se a saída digital referente a detecção estava em devido funcionamento.

Para isso, foi utilizada a placa de interfaceamento Phidgets assim como no tópico anterior. O que diferiu nesse teste para o anterior é que o sensor foi acoplado em uma entrada digital, em vez de uma analógica, assim como o *script* executado foi para comunicação com as entradas digitais. O código, também disponibilizado pela fabricante, notifica a mudança de estado da saída dos sensor, dessa maneira podendo ser validada.

Para verificar se o sensor possui uma distribuição normal, foi obtido trinta medidas de tensão do sensor detectando um objeto em três distâncias, 10, 20 e 25 centímetros. A partir disso, foi possível gerar os seguintes gráficos apresentados nas Figuras 4.21, 4.22 e 4.23.

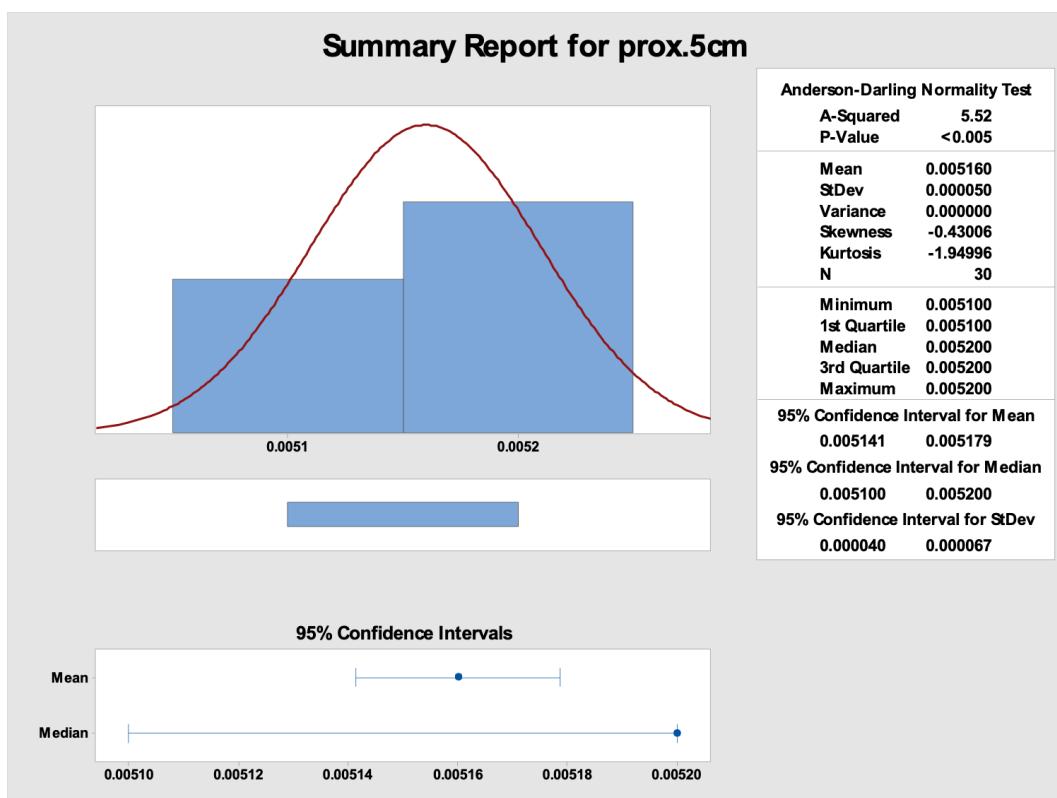


Figura 4.21: Distribuição Normal do sensor de proximidade para uma distância de 5cm

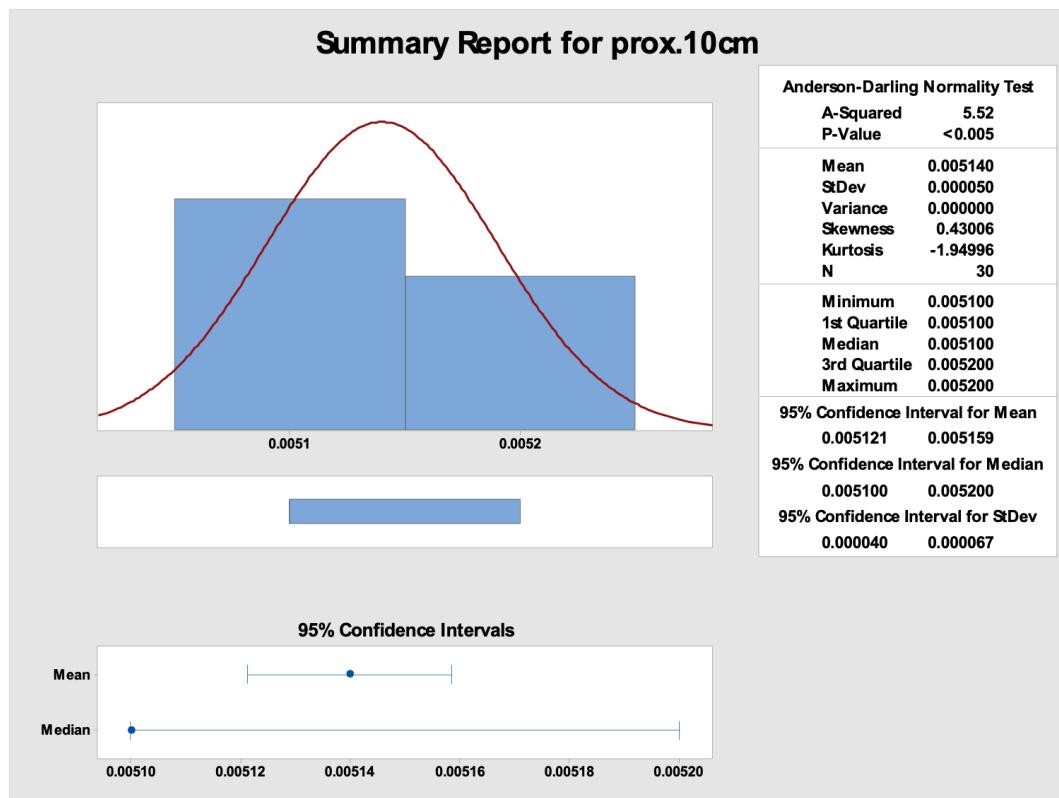


Figura 4.22: Distribuição Normal do sensor de proximidade para uma distância de 10cm

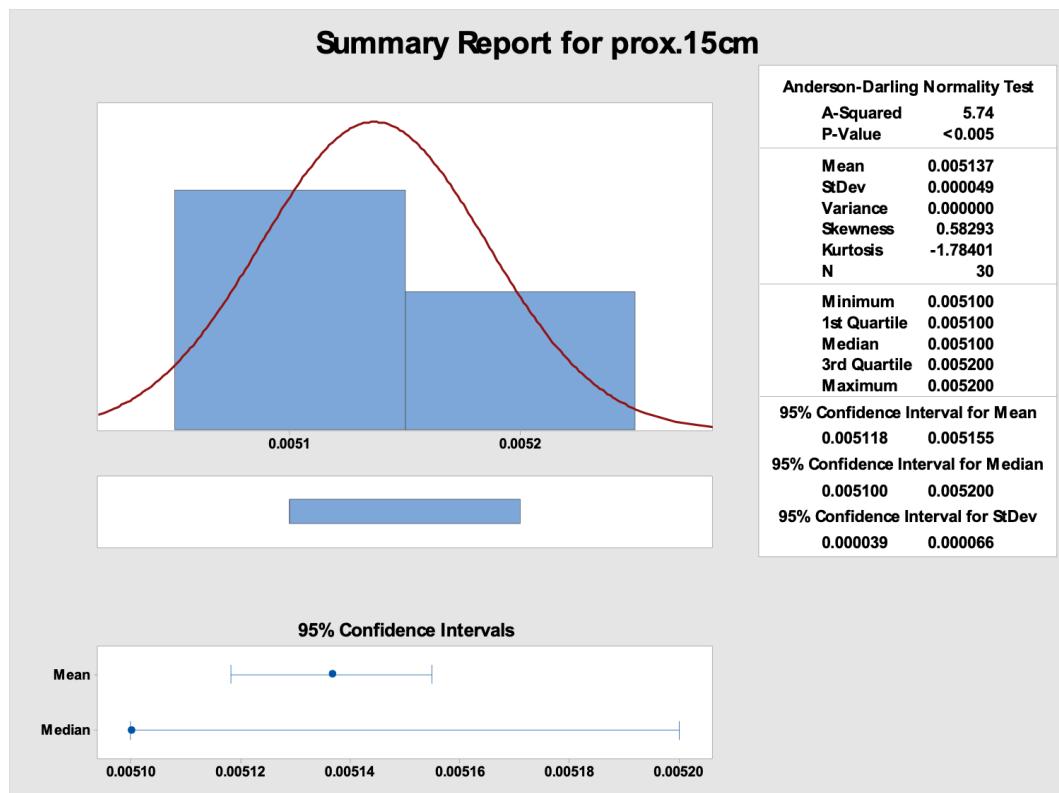


Figura 4.23: Distribuição Normal do sensor de proximidade para uma distância de 15cm

4.4.5 Smart Charger

A placa de gerenciamento e carregamento das baterias DS325A, da empresa Inspired Energy, funciona a partir do protocolo de comunicação SMBus. Informações das baterias como temperatura, corrente, carga, entre outras podem ser solicitadas através do seguinte protocolo de leitura.

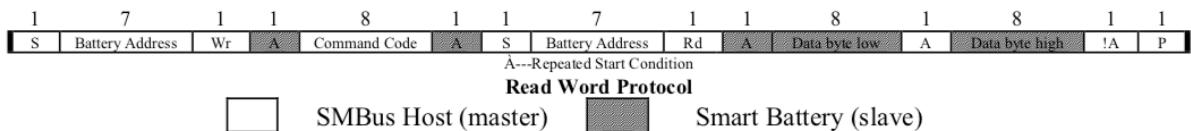


Figura 4.24: Protocolo de comunicação do *Smart Charger* e das baterias

No qual é necessário enviar primeiro o endereço de 7 bits da bateria de interesse, seguido do comando referente a que informação está se requisitando. Após isso, inicia-se o processo de leitura das informações da bateria.

O driver de comunicação foi desenvolvido em uma placa de desenvolvimento Nucleo STM3L432KC para disponibiliza-los na USB do computador. Além disso, um *script* em Python foi escrito para requisitar essas informações do microcontrolador.

O *script* utilizado no teste unitário para receber os dados provenientes do *smart charger* no computador foi utilizado como base para a construção do nó no ambiente ROS.

O nó funciona enviando um *byte* pré-definido para dar início ao processo de transmissão de dados da bateria. A recepção do *byte* pela Nucleo L432KC inicia a leitura dos dados da bateria, como mostrado no tópico anterior. Logo após isso, ocorre o envio das informações em sequência para o computador, como pode ser visto abaixo:

W	R	R	R	R
0x30	2 bytes	2 bytes	2 bytes	2 bytes
Fixed Header	Voltage	Temperature	Current	Capacity

Figura 4.25: Mensagem entre a Nucleo L432KC e o nó referente às baterias

No nó do ROS essas informações são recebidas via serial e convertidas para sua devidas unidades segundo o *datasheet* do fabricante. Esses dados são colocados em um formato de mensagem chamado de Battery e publicadas em um tópico do ROS.

Os dados foram convertidos para suas respectivas grandezas, dessa maneira, foi possível validar as informações obtidas.

4.4.6 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura LM35 possui uma saída analógica e com comportamento linear entre a tensão de saída e a temperatura medida.

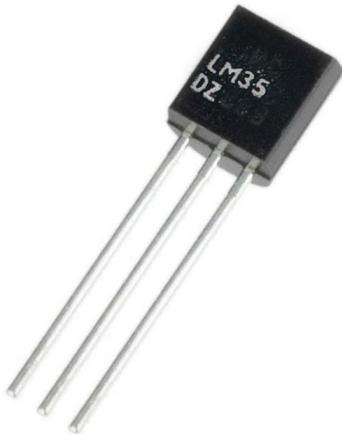


Figura 4.26: Sensor de Temperatura LM35

O componente foi testado em uma das entradas analógicas da Phidgets, e utilizando o mesmo algoritmo de leitura de tensão já mencionado para realizar a obtenção de dados. Para verificar a resposta do sensor, foi medido o valor de tensão de saída para uma sala com ar-condicionado e para um ambiente externo com auxílio de um termômetro de referência.

Os valores de tensão foram convertidos para graus Celsius, através da correlação disponível no *datasheet*, validando assim o sensor.

4.4.7 GPS

O GPS Piksi v2.3.1, da Swift Navigation, possui um console disponibilizado pelo próprio fabricante, porém como se tinha em mãos uma versão antiga do aparelho, foi necessário descobrir qual a versão compatível do *software*.

Para o GPS, foi utilizado um driver disponibilizado no GitHub por [Tranzatto et al. \(2018\)](#) com licença livre para embarcar o dispositivo no ROS.

O *package* possui nós que publicam em tópicos as informações de coordenadas obtidas do GPS.

O console foi instalado, o GPS foi conectado na USB do computador e a antena devidamente acoplada. Essa versão em específico precisa de quatro satélites para realizar

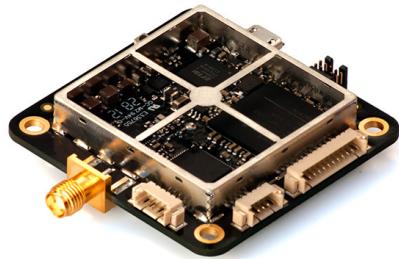


Figura 4.27: GPS Piksi v2.3.1

os cálculos de coordenadas, e em ambientes fechados, a recepção de sinal é bastante degradada. Para contornar essa situação, o dispositivo foi iniciado em modo de simulação em seu console, mostrando assim, os dados de longitude e latitude.

Posteriormente, a antena foi levada a um ambiente externo e verificou o funcionamento do GPS fora do modo de simulação.

4.4.8 IMU

A IMU Mti-1, fabricado pela Xsens, possui um console que é disponibilizado no próprio pendrive de instalação que vem junto ao sensor.



Figura 4.28: IMU Xsens Mti-1

Com o console instalado, foi apenas necessário conectar a IMU a uma das portas USB do computador. Na própria interface gráfica já aparece as informações de orientação do dispositivo, informando a orientação nos três eixos de referência e velocidade angular.

Foi utilizado o driver da IMU disponibilizada pela própria fabricante Xsens para embarca-la no ROS. O driver de licença livre é disponibilizado no GitHub da própria empresa.

4.5 Testes integrados

Os testes integrados servem para validar o funcionamento do sistema de Percepção como um todo. Para um sistema de Percepção a validação da interface gráfica é uma confirmação de funcionamento do sistema, uma vez que todos os dados estão sendo exposto em tempo real para o operador.

Por tanto, o principal teste integrado do sistema de Percepção foi executar os nós do ROS ao mesmo tempo e avaliar o desempenho quantitativo da interface gráfica.

A figura 4.29 mostra a interface gráfica do sistema de Percepção com todos os componentes funcionando.

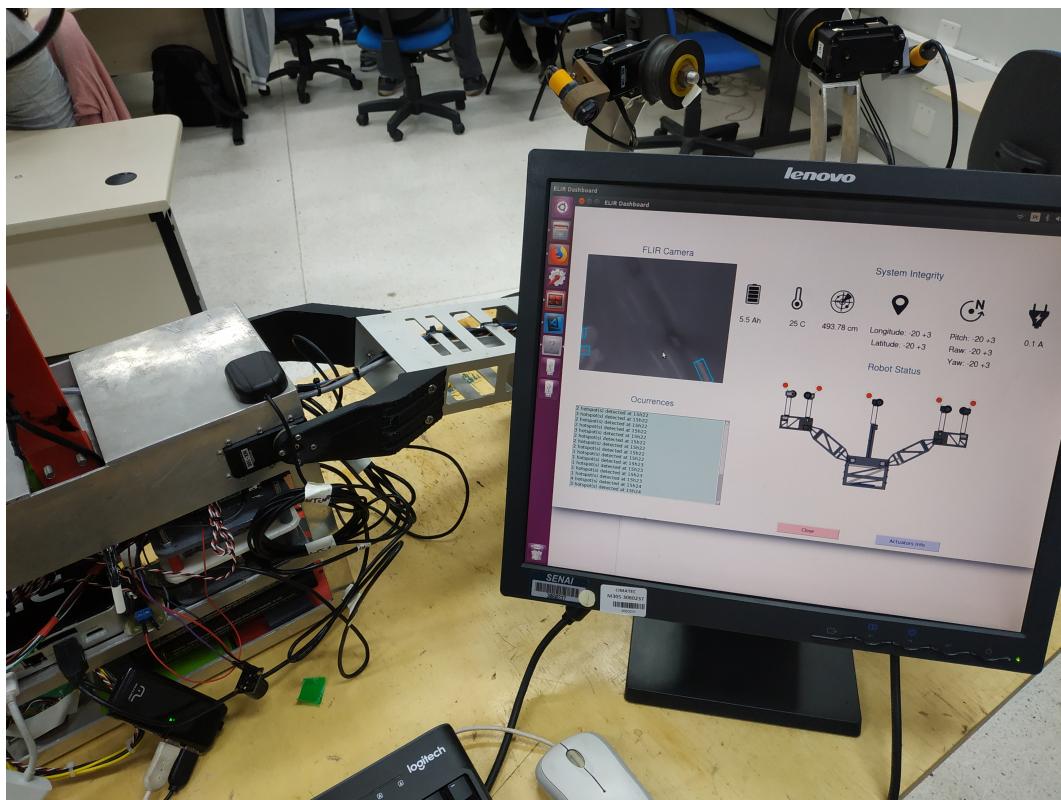


Figura 4.29: Teste Integrado

4.6 Suporte mecânico dos sensores da Percepção

A implementação física do sistema de Percepção ocorre no processo de fixação dos sensores que a compõem no protótipo. Por tanto, foram desenvolvidos suportes utilizando impressão 3D com este fim.

Para fixar todos os sensores e componentes eletrônicos de maneira organizada foi desenhada uma estrutura em forma de prateleira.

A primeira prateleira comporta os sensores do sistema de georreferenciamento que são o GPS e a IMU. A prateleira central foi projetada para a placa de interface Nucleo F401RE e por último, na terceira prateleira fica a placa de interface Phidgets.

As peças foram fabricadas utilizando impressão 3D e o seu desenho pode ser visto nas Figura 4.30 e 4.31 .

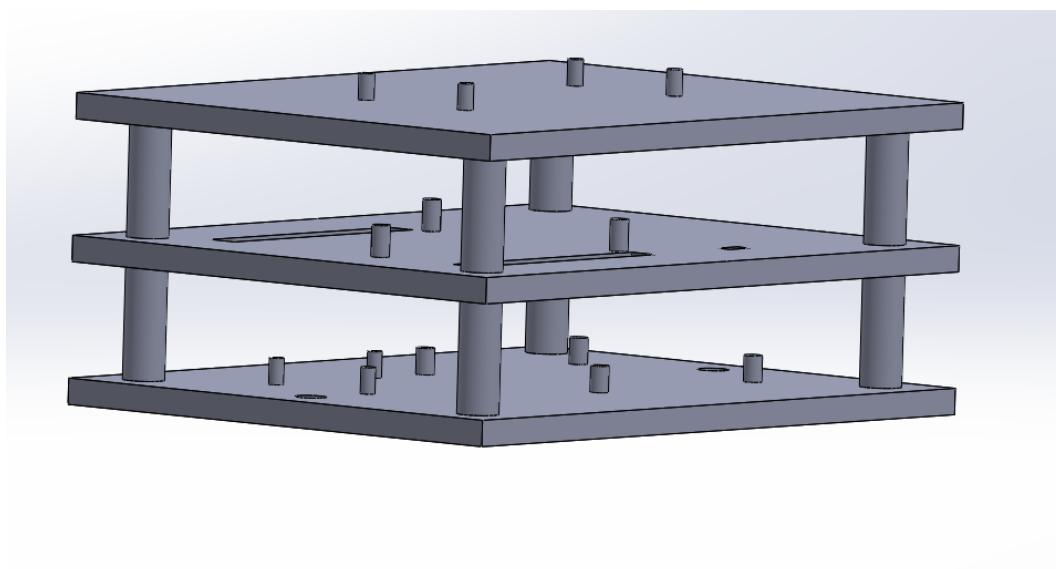


Figura 4.30: Prateleira para suporte dos componentes eletrônicos

Toda a parte de gerenciamento de energia do robô foi alocada em uma estrutura na parte inferior do mesmo. Esta estrutura foi projetada para comportar as baterias, a *Smart Charger*, a *Power Management* e a placa de interface Nucleo L432KC. O desenho dessa estrutura está mostrado na figura 4.32.

Todas as peças foram impressas utilizando a impressora 3D da área de robótica do SENAI CIMATEC não implicando em custos para a equipe de projeto.

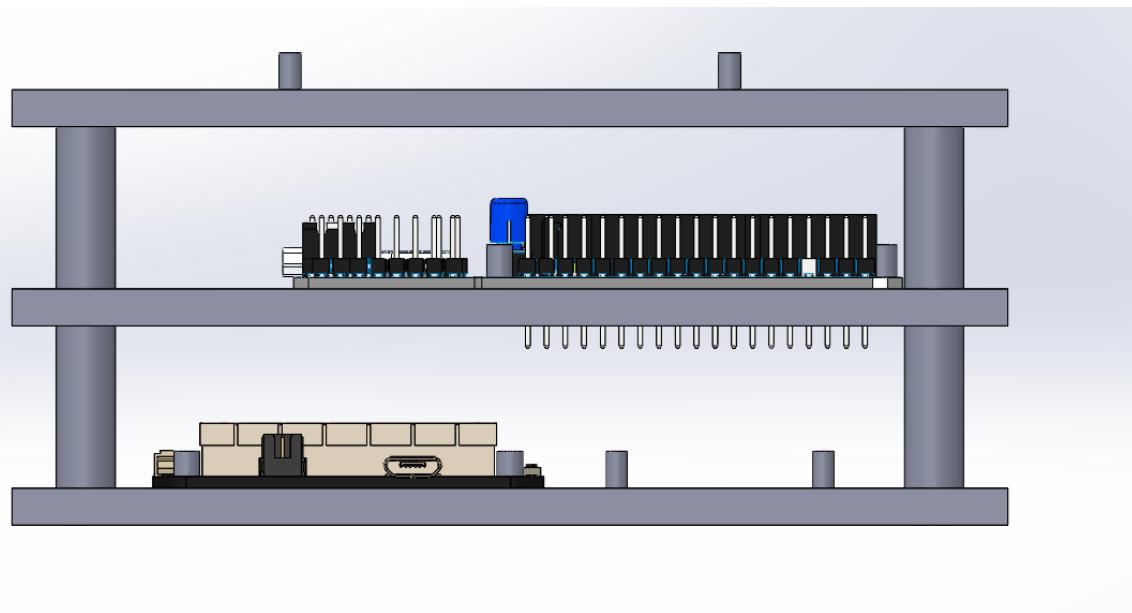


Figura 4.31: Prateleira para suporte com sensores

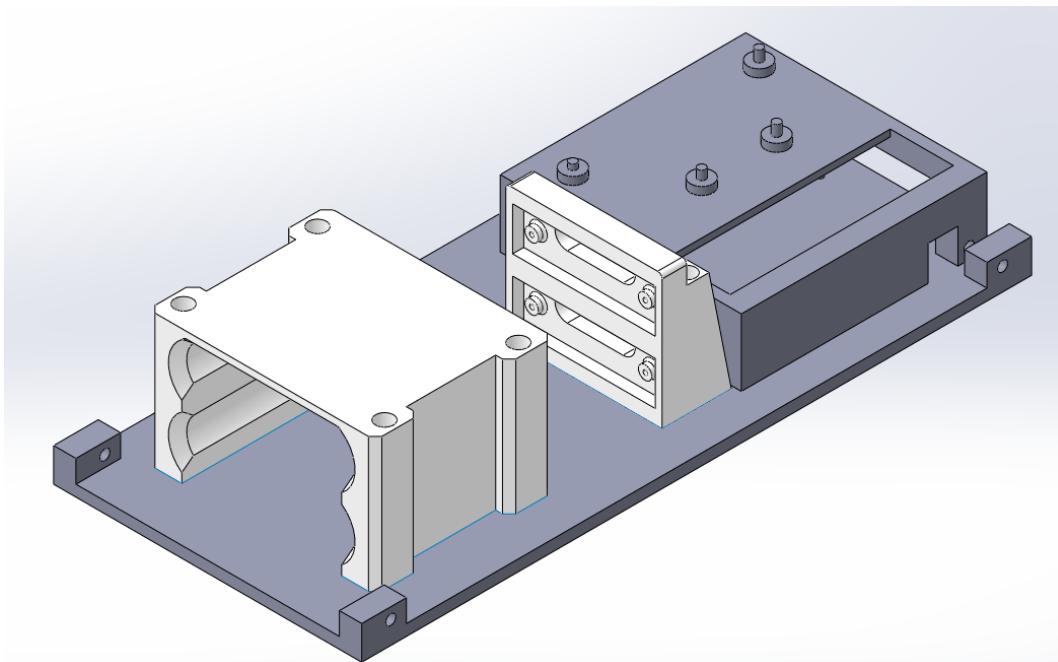


Figura 4.32: Prateleira para suporte dos componentes de alimentação

Conclusão

No presente trabalho, foi apresentada um modelo de sistema de Percepção para robôs de inspeção de linhas de alta tensão, no qual fundamentos de processamento de imagem para detecção de pontos quentes são apresentados mais detalhadamente.

O trabalho do proposto além de se apresentar como uma contribuição para o desenvolvimento em robótica móvel com o objetivo de redução do trabalho humano em atividades de risco também se mostra como ferramenta de aproximação dos cursos de graduação nos projetos de pesquisa e desenvolvimento em robótica.

Ao longo do trabalho foi proposto um algoritmo de detecção de pontos quentes através da binarização de imagem e busca de contornos, esta técnica apresentou resultados satisfatórios para a funcionalidade de Detecção. Entretanto, para a consideração de mais formatos de objeto e perfis de temperaturas diferenciados, outros métodos de processamento podem ser analisados em trabalhos futuros para se tornar uma solução mais completa e robusta.

Em relação a interface gráfica desenvolvida no projeto, ela é capaz de fornecer informações em tempo real ao operador facilitando tomadas de decisão e planejamento das atividades de manutenção. No trabalho, não foi implementado a tela com informações dos atuadores, podendo ser implementados em trabalhos futuros para apresentar uma solução mais completa de inspeção.

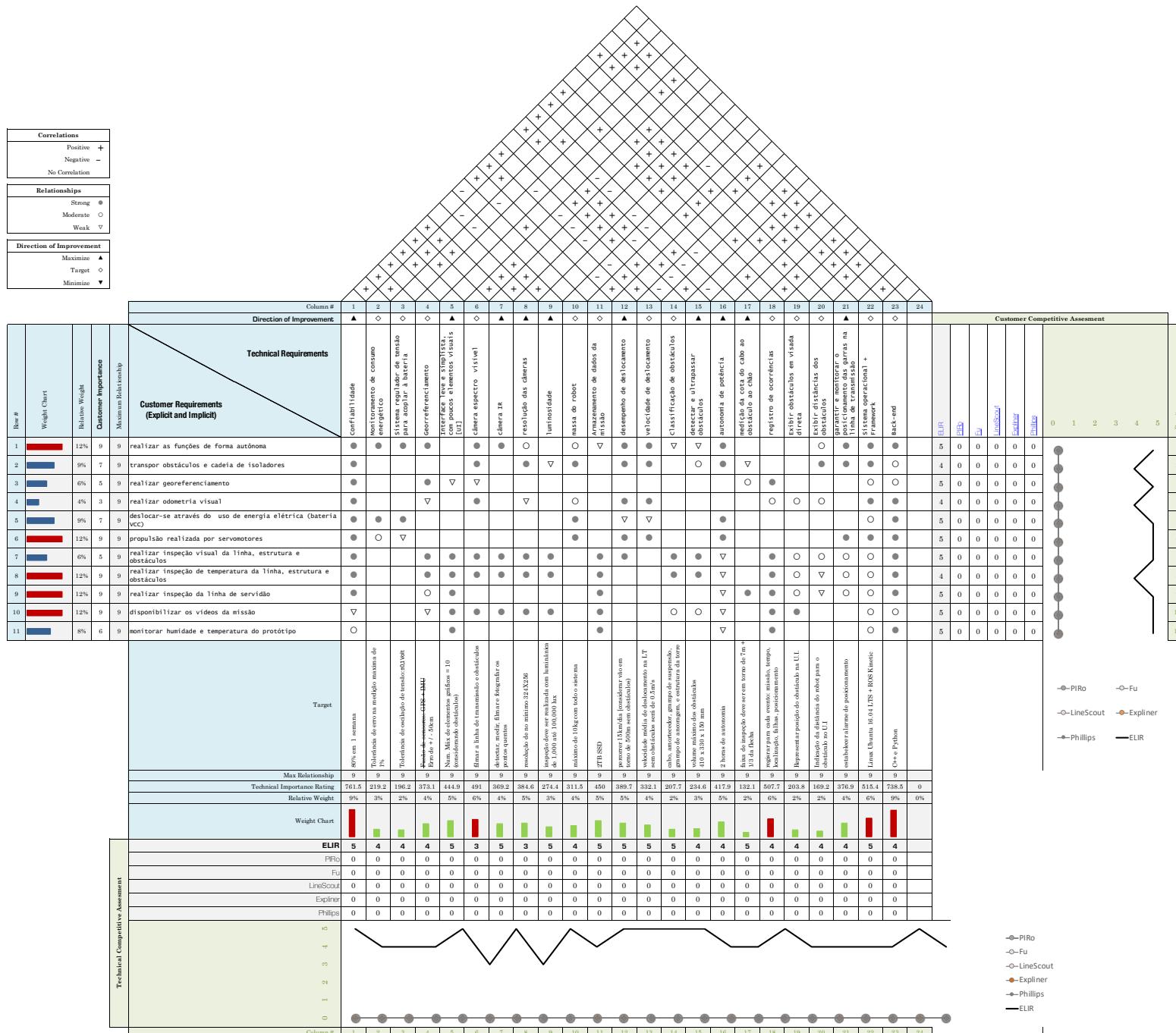
Além dos sistemas de desenvolvidos, o próprio planejamento e método utilizado no projeto podem ser considerados um resultado para auxílio de gestão de projetos robóticos. A equipe buscou utilizar as ferramentas mais utilizadas na área de robótica, implementando boas práticas de versionamento de código e de desenvolvimento. Os suportes mecânicos para os sensores do sistema de Percepção apresentaram uma solução satisfatória para integração dos mesmos na parte mecânica do robô. Contudo, o projeto de suportes mecânicos que melhorem a manutenibilidade são desejados em próximos projetos.

Verifica-se, portanto, que os resultados obtidos no presente trabalho são considerados favoráveis e satisfatórios, bem como uma proposta de integração entre graduação e projetos de robótica, incentivando o desenvolvimento tecnológico e inovação. Os autores possuem interesse que os sistemas propostos sejam avaliados em ambiente de campo para que novos cenários sejam estudados bem como a implementação de novos sistemas ou

aperfeiçoamento dos existentes.

Apêndice A

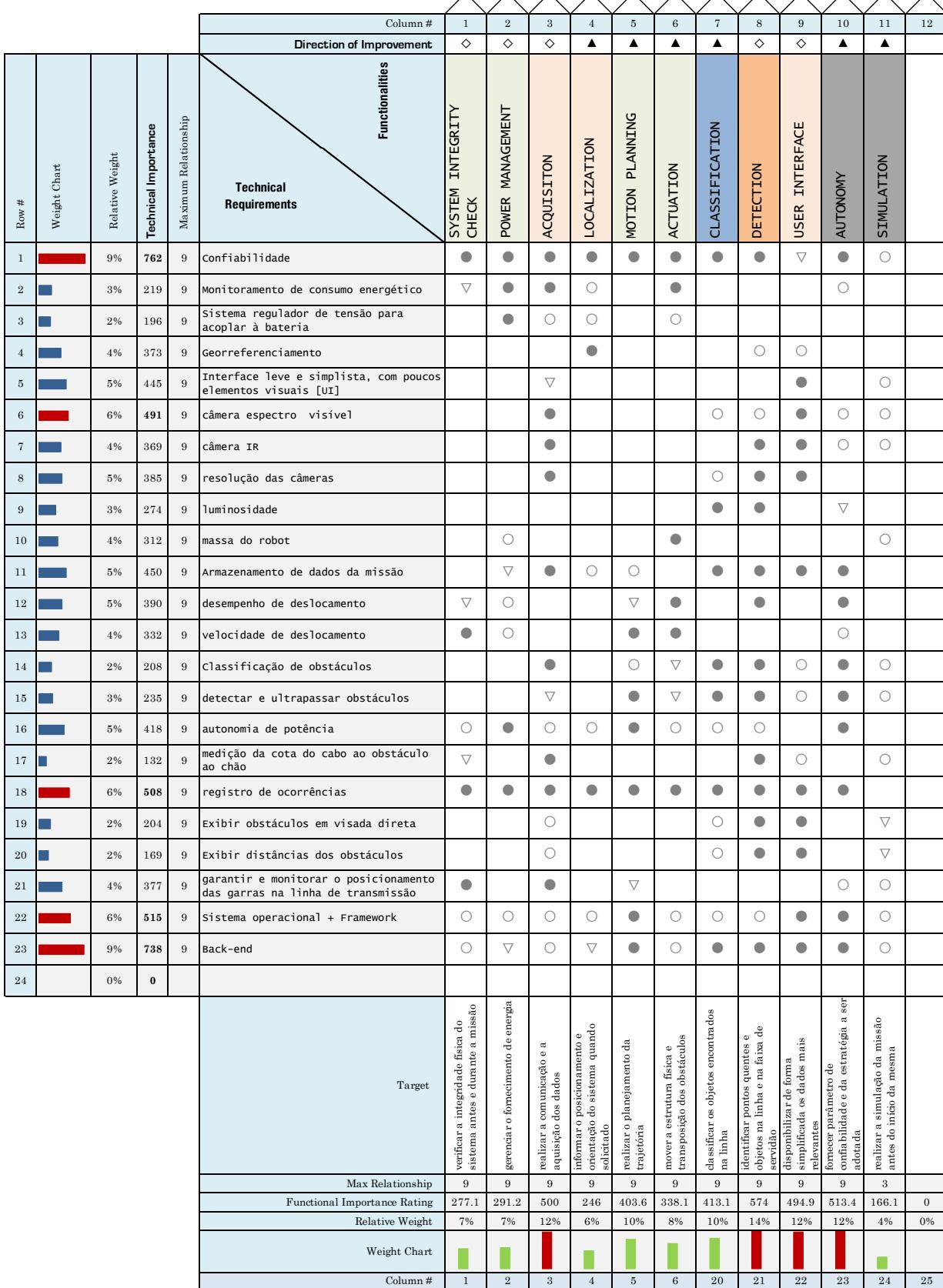
QFD



Correlations	
Positive	+
Negative	-
No Correlation	

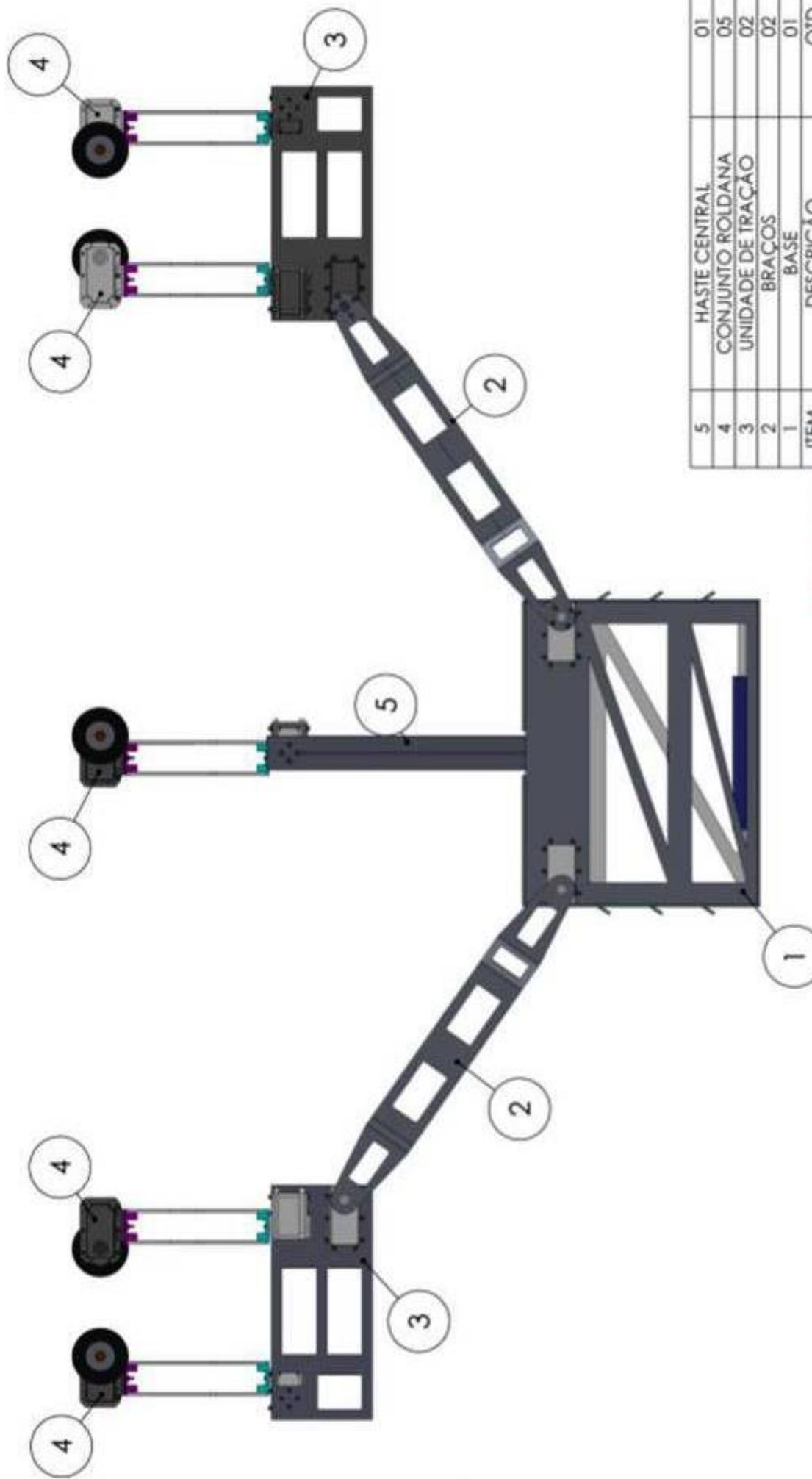
Relationships	
Strong	●
Moderate	○
Weak	▽

Direction of Improvement	
Maximize	▲
Target	◇
Minimize	▼



Diagramas mecânicos

REV	DESCRIPTION	DEAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017

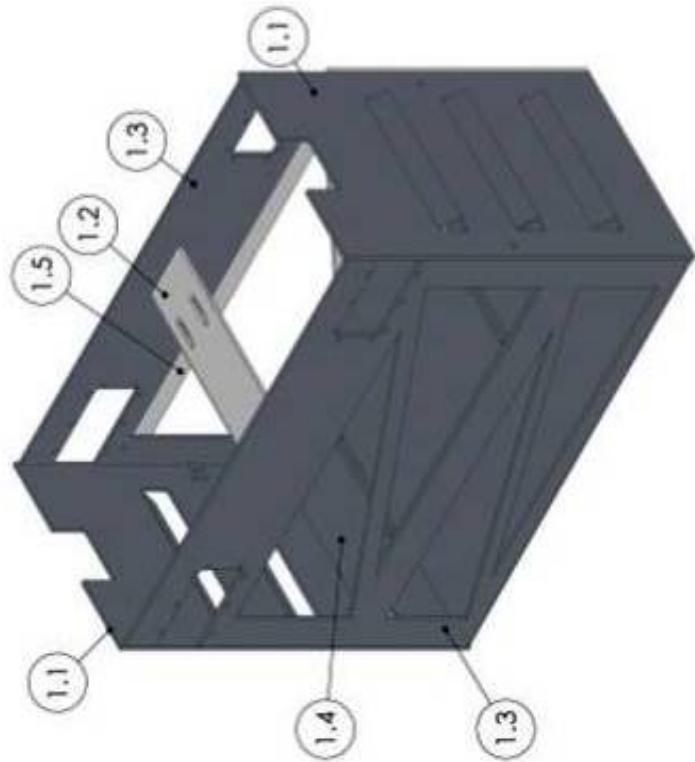


Pi-Ro 2.1
VISTA FRONTAL

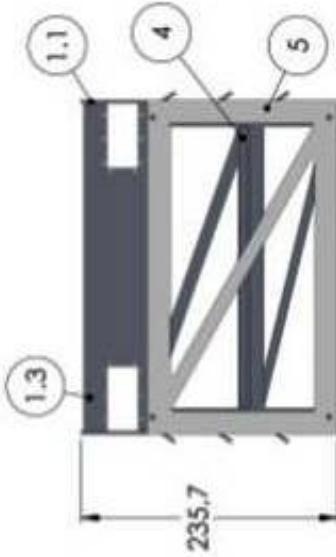


ITEM	DESCRICAO	QTD	PI-RO 2.1
5	HASTE CENTRAL	01	1:4
4	CONJUNTO ROLDANA	05	Assembly
3	UNIDADE DE TRACAO	02	01
2	BRAÇOS	02	A.3
1	BASE	01	PROJETO

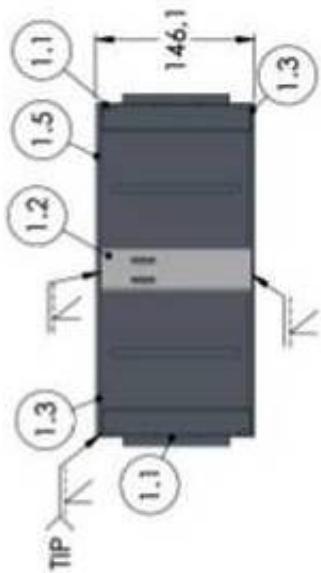
Page: 1 of 13
This information is the property of the document owner and may not be copied, reproduced or distributed without the owner's written consent.
1. All rights reserved.
2. Information subject to change.
3. English translation
Revisor: D
Data: 07/09/2017



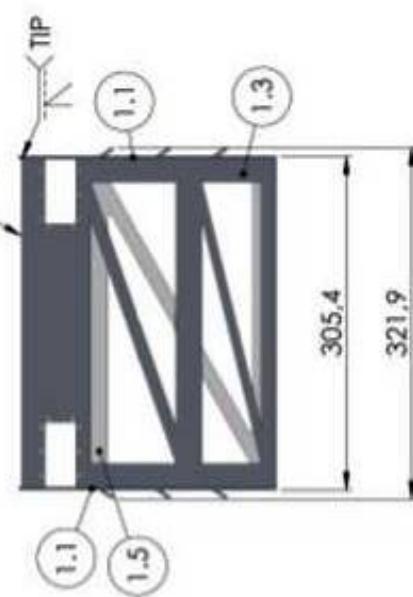
VISTA ISOMÉTRICA



VISTA TRASEIRA



VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

ITEM	QTD	DESCRICAÇÃO	BASE - ITEM 01
1.5	01	CHAPA 05: 305,4 x 175 x 2,7 mm	
1.4	01	CHAPA 04: 148 x 254 x 2,7 mm	
1.3	01	CHAPA 03: 608,8 x 300 x 2,7 mm	
1.2	01	CHAPA 01: 138 x 47 x 2,7 mm	
1.1	02	CHAPA 01: 143,4 x 235,4 x 2,7 mm	
		DESCRICAÇÃO	QTD 12
			X
			A3
			27/09/13



Notes:
1. All measurements in mm
2. Use reference sketch
3. Detail drawing

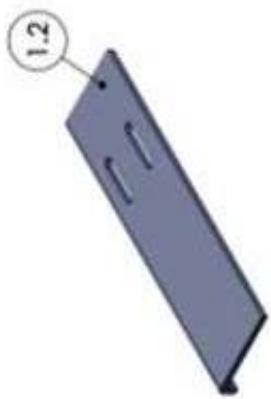
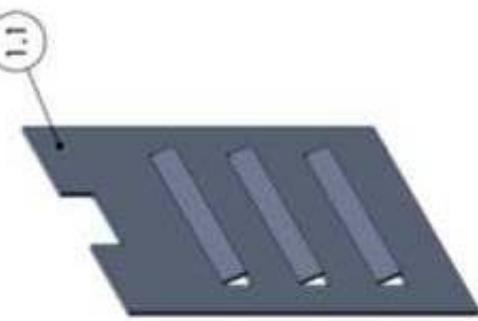
Number:	0	Date:	07/09/2017
Name:	Júlia Santori	Author:	Marco Reis
Signature:	[Signature]	Signature:	N/A

The information in this document does not express any opinion concerning the construction of the object(s) shown.

REV 0 Drawing elaboration Juliano Sartori 07/09/2017

DESCRIPTION DRAW DATE

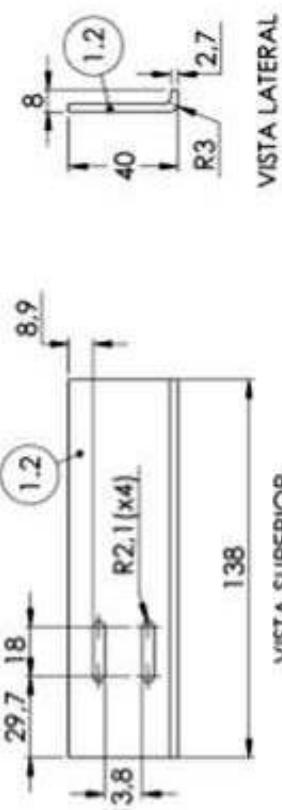
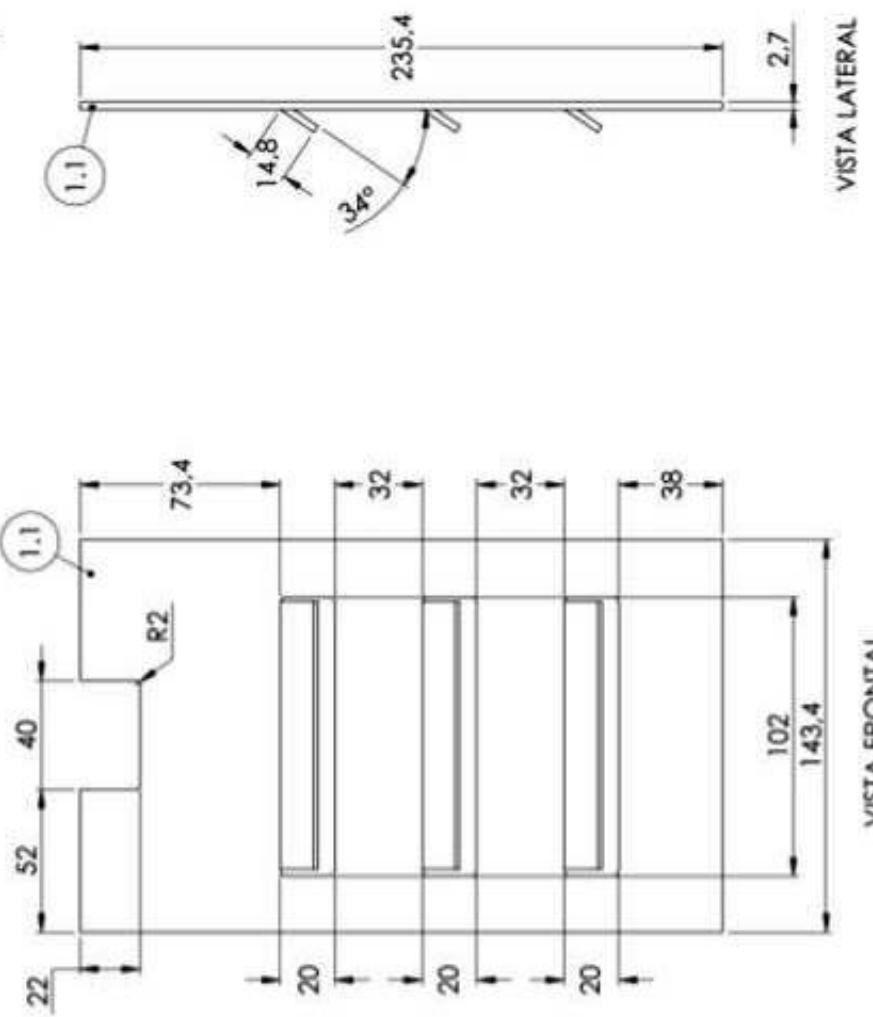
F E D C B A



ITEM	1.2	CHAPA 02 : 138 x 47 x 2,7 mm	Alumínio
ITEM	1.1	CHAPA 01 : 143,4 x 235,4 x 2,7 mm	Alumínio
DESCRICAÇÃO			MATERIAL
1:2			
Project:	SENAI FIEB	BASE - ITENS 1.1 E 1.2 E ITEM 1.2	
Client:	Pi-Ro 2.1		
Date:	07/09/2017		



NOTA 01: CONSIDERAR QUE FILETES NÃO ESPECIFICADOS TÊM RAIO IGUAL A 2,0mm.
NOTA 02: OS VISTOS DE LATERAL SÃO MÉTODOS DE EXIBIÇÃO, NÃO CONSIDERAR OS CORDEAMENTOS PONTILHADOS.



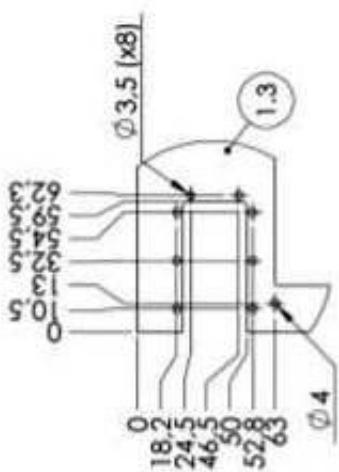
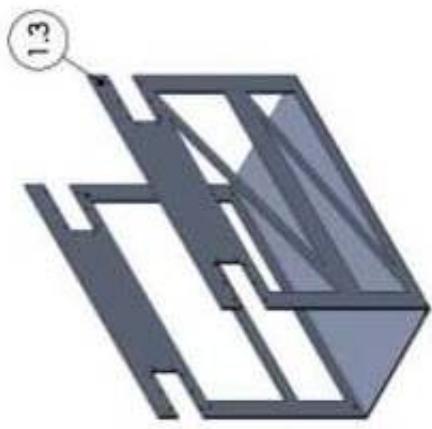
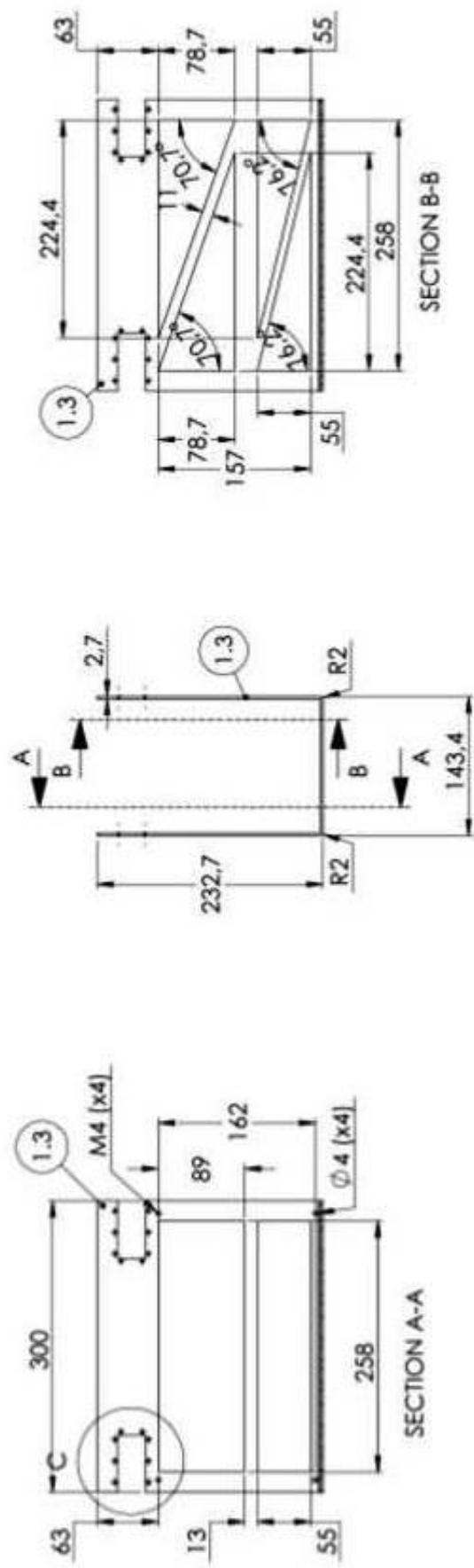
ITEM	1.2	CHAPA 02 : 138 x 47 x 2,7 mm	Alumínio
ITEM	1.1	CHAPA 01 : 143,4 x 235,4 x 2,7 mm	Alumínio
DESCRICAÇÃO			MATERIAL
1:2			
Project:	SENAI FIEB	BASE - ITENS 1.1 E 1.2 E ITEM 1.2	
Client:	Pi-Ro 2.1		
Date:	07/09/2017		



NOTA 01: CONSIDERAR QUE FILETES NÃO ESPECIFICADOS TÊM RAIO IGUAL A 2,0mm.
NOTA 02: OS VISTOS DE LATERAL SÃO MÉTODOS DE EXIBIÇÃO, NÃO CONSIDERAR OS CORDEAMENTOS PONTILHADOS.

F
E
D
C
B
A

REV
0
DESCRIPTION
Drawing elaboration
Juliano Santori 07/09/2017
DATE



DETALHE C
ESCALA 2:5
FURAÇÃO TÍPICA PARA ENCAIXE
DO MOTOR MX-106T

ITEM	DESCRIÇÃO	MATERIAL
1.3	Chapa 608.8 x 300 x 2.7mm	Alumínio
01		
A3		
4713		
BASE - ITEM 1.3		
Project:	PI-Ro 2.1	
Date:	07/09/2017	
Author:	Juliano Santori	
Reviewer:	Marco Reis	
Thinner:	N/A	
Number:	0	

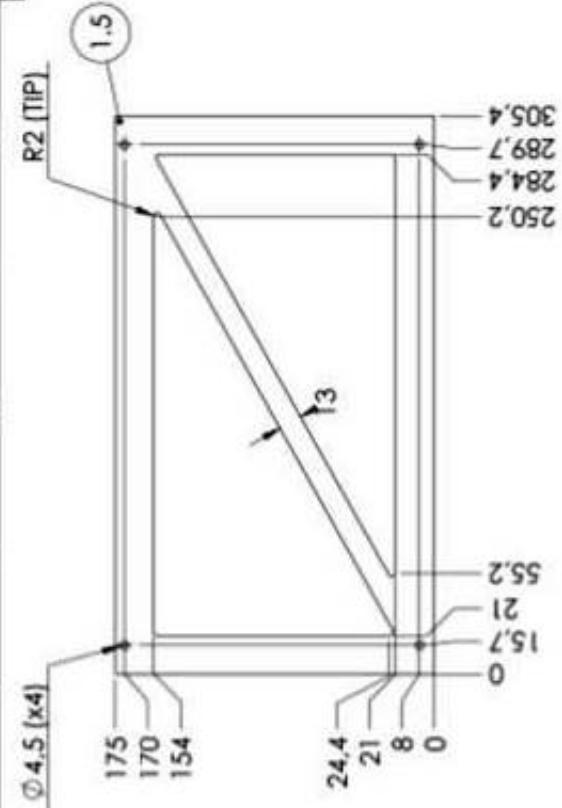
SENAI FIEB
Instituto Federal de São Paulo
Instituto Federal do Rio de Janeiro
3R Robotics
Robótica e Inteligência Artificial

Names:
1. Juliano Santori (elaboration)
2. Marco Reis (reviewing)
3. Celso Henrique (signing)

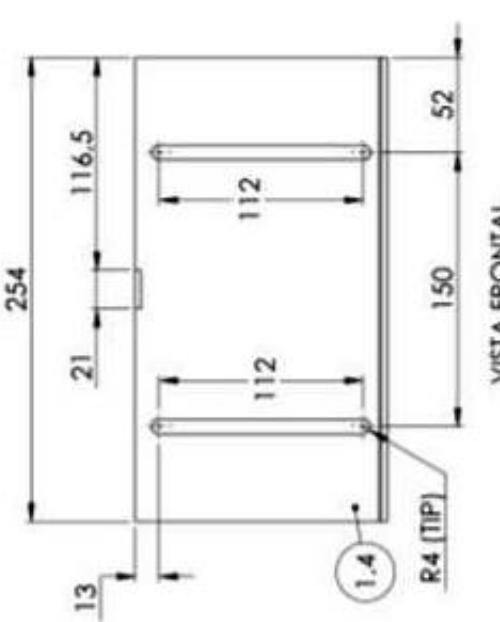
Comments:
1. As dimensiones estão em milímetros.
2. As dimensões da base devem ser adaptadas para a base do motor.
3. O motor deve ser adaptado.

The information in this document does not represent contractual terms. Consultancy terms.

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Santori	07/09/2017



VISTA LATERAL



VISTA LATERAL

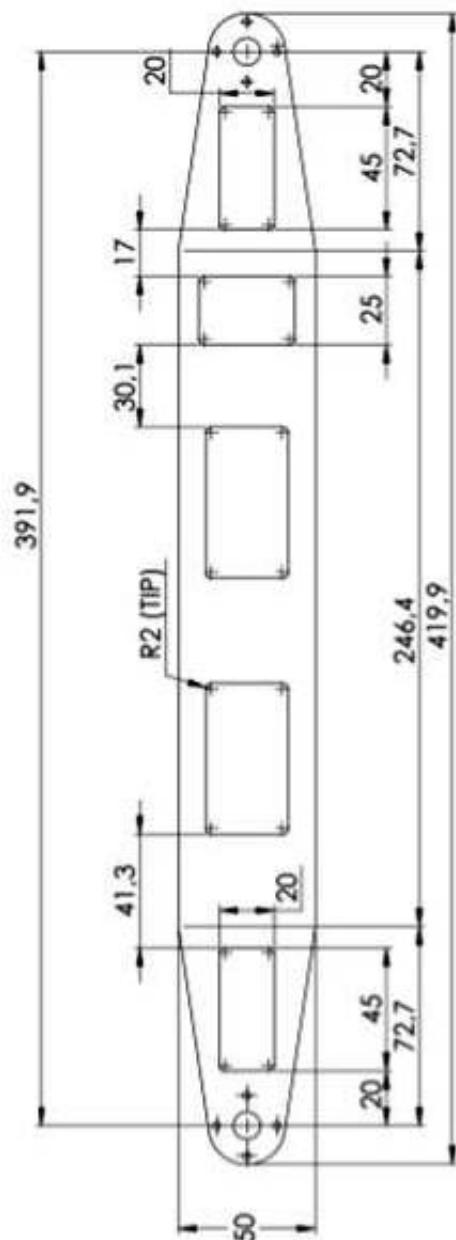


1.4

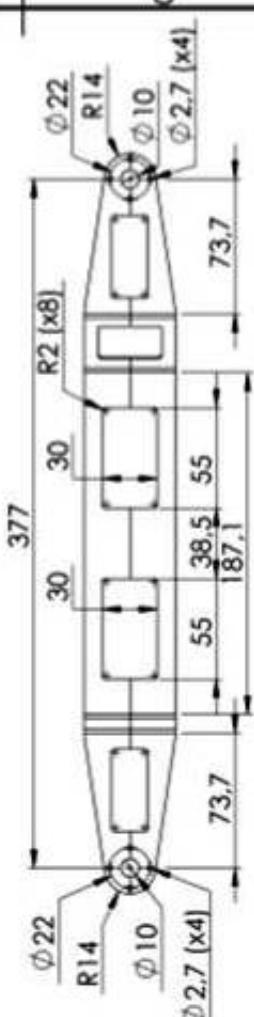
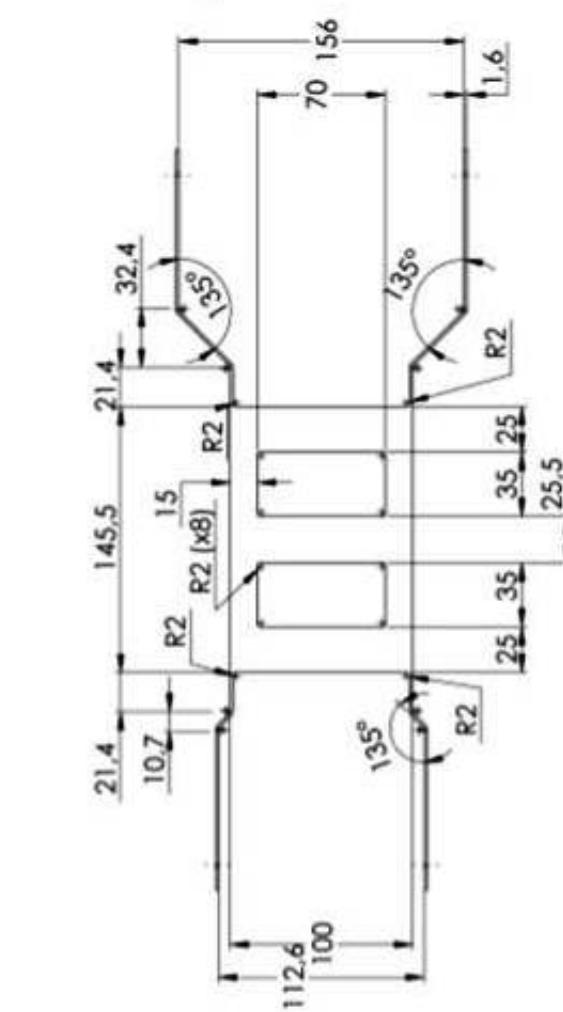
ITEM	DESCRICAÇÃO	MATERIAL
5	Chapa 305.4 x 145 x 2.7mm	Alumínio

SENAI SENAI - Instituto Federal do Paraná 3R Robotics Brazilian Institute of Robotic	Project: PL-RO 2.1
Notes: 1. All measurements in mm 2. All dimensions in mm 3. Drawing in metric system. 4. Drawing in metric system.	Date: Juliana Santori Author: Marco Reis
Number: 0	Base: 07/09/2017
The information in this document must be copied, stored or transmitted and/or distributed under the conditions indicated in the contract.	

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Júlian Sartori	07/11/2016
A	Modificação de dimensões	Júlian Sartori	07/09/2017

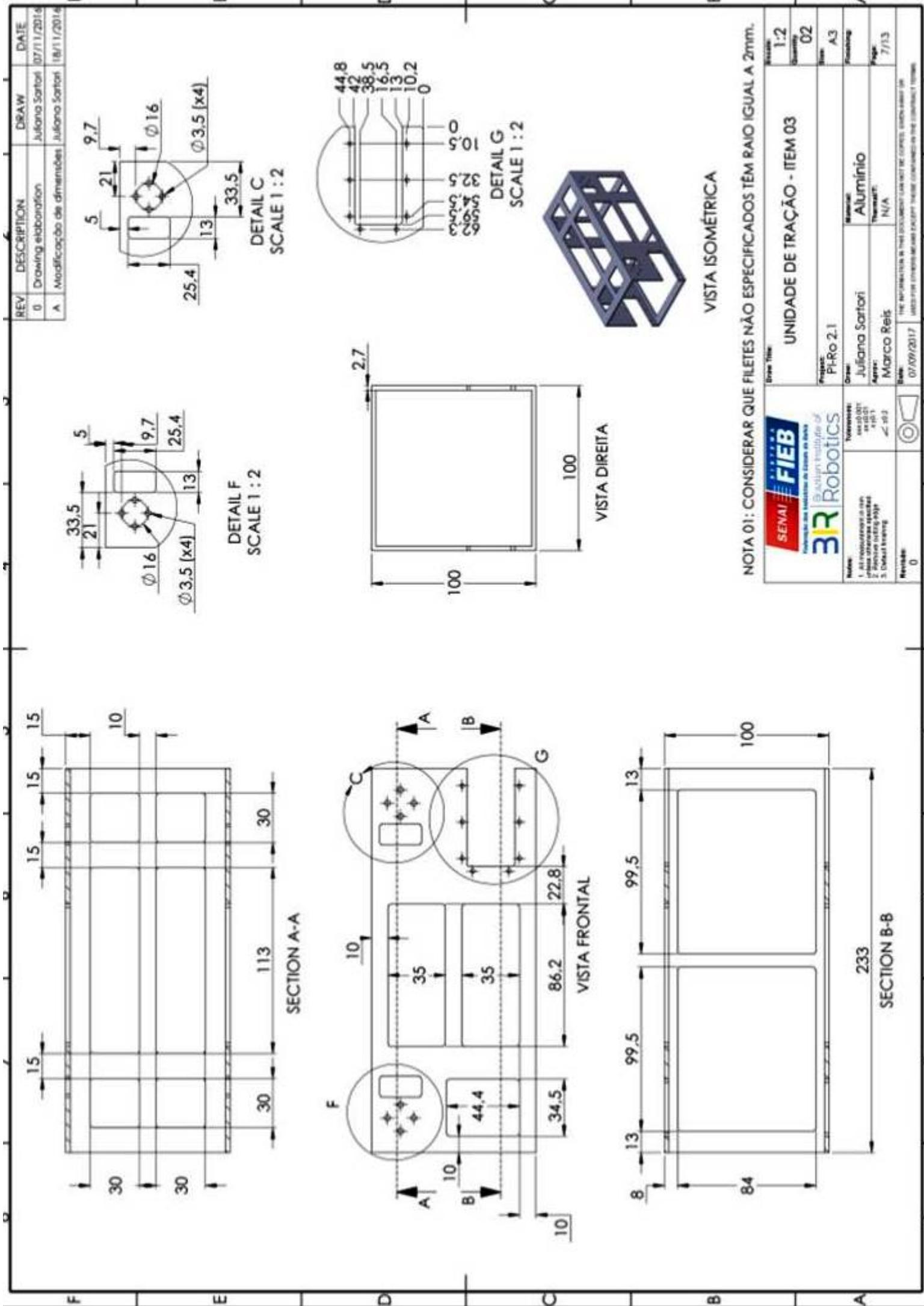


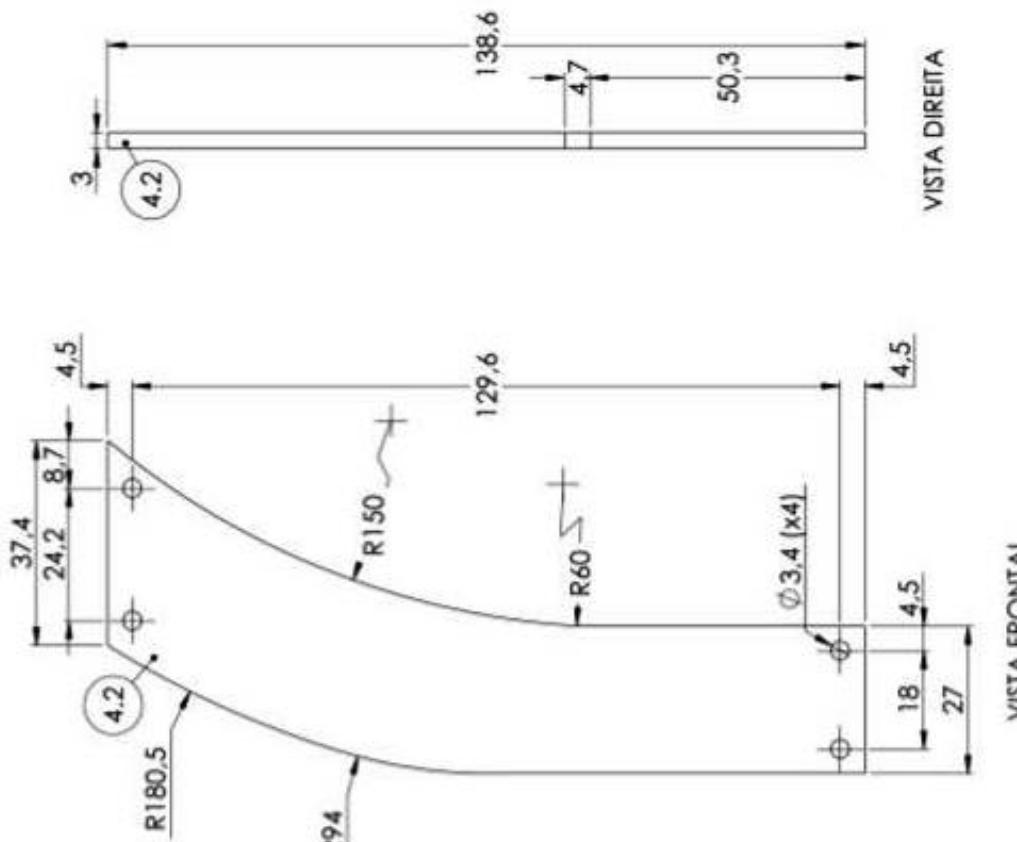
VISTA ISOMÉTRICA



NOTA 01: CONSIDERAR QUE FILETES NÃO ESPECIFICADOS TÊM RAIO IGUAL A 3.0mm.
NOTA 02: AS DIMENSÕES DE ABERTURA (156mm e 112.6mm) DEVEM SER MANTIDAS APÓS A REALIZAÇÃO DAS DOBRAS DO PERFIL.

BRAÇO- ITEM 02		Base File	Project
02	02	PI-Ro 2.1	SENAI FIEB
A3	A3	Author:	Brasilian Institute of Robotics
Marco Reis	N/A	Date:	07/09/2017
0	0	Notes:	The performance tests to verify the mechanical characteristics were carried out by the company's own laboratory. 1. All the measurements of the parts were made with a digital caliper. 2. The drawings do not represent the exact shape of the parts. 3. Different drawings.





VISTA ISOMÉTRICA

ITEM	DESCRÍÇÃO	QTD	MATERIAL
4.9	Motor MX-28	05	-
4.8	Motor MX-106T-31	05	-
4.7	Garra- Chapa IV	05	Alumínio
4.6	Garra- Chapa III	05	Alumínio
4.5	Roldana externa	05	Borracha
4.4	Roldana interna	05	Alumínio
4.3	Eixo Roldana	05	Alumínio
4.2	Garra- Chapa I	10	Alumínio
4.1	Suporte garra	05	Alumínio



NOTAS:
 1. As dimensões em milímetros.
 2. Unidade utilizada: milímetro.
 3. Orientação: vista frontal.
 REVISÃO: 0 DATA: 07/09/2017
 Nome: Juliana Santori Assinatura: _____
 Nome: Marco Reis Assinatura: _____
 Projeto: PRo 2.1 Versão: X
 Material: Alumínio Quantidade: N/A
 Projeto: PRo 2.1 Versão: X
 Material: Alumínio Quantidade: N/A
 Projeto: PRo 2.1 Versão: X
 Material: Alumínio Quantidade: N/A

NOTAS:
 1. As dimensões em milímetros.
 2. Unidade utilizada: milímetro.
 3. Orientação: vista frontal.
 REVISÃO: 0 DATA: 07/09/2017
 Nome: Juliana Santori Assinatura: _____
 Nome: Marco Reis Assinatura: _____
 Projeto: PRo 2.1 Versão: X
 Material: Alumínio Quantidade: N/A
 Projeto: PRo 2.1 Versão: X
 Material: Alumínio Quantidade: N/A
 Projeto: PRo 2.1 Versão: X
 Material: Alumínio Quantidade: N/A

4

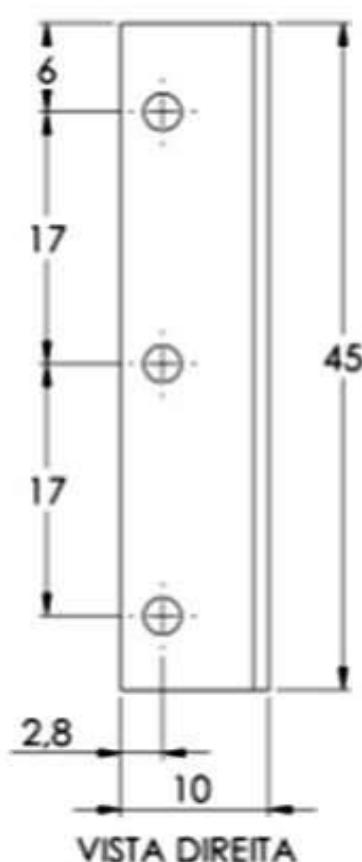
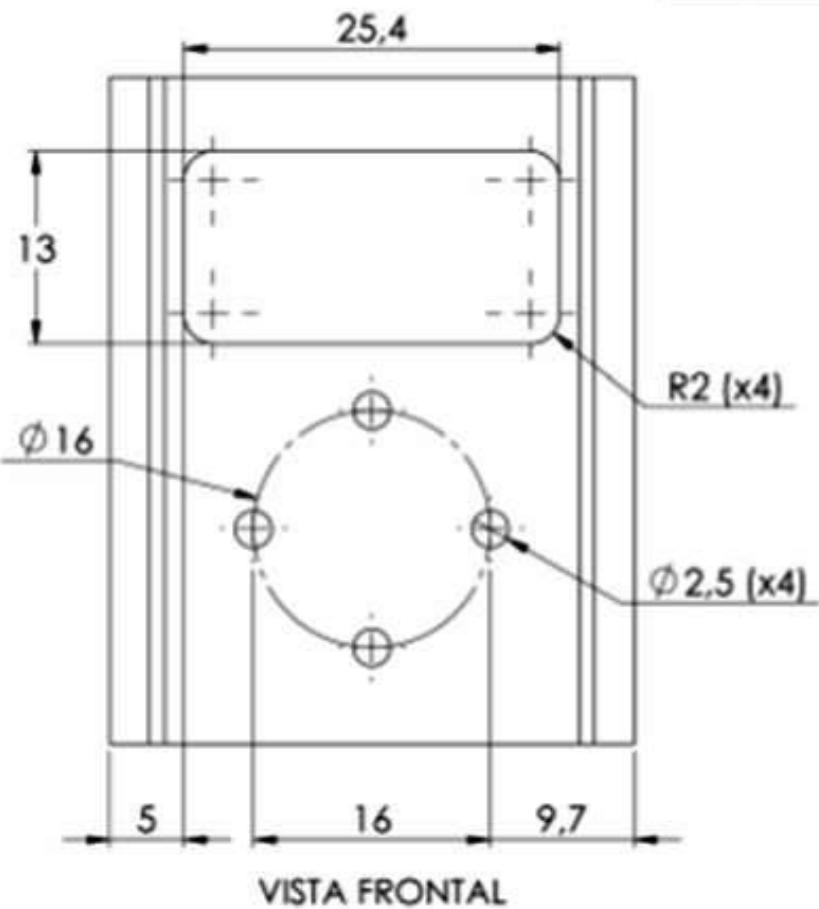
3

2

1

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017

F



D

C

B

F

E

D

C

B

A

VISTA FRONTAL

VISTA DIREITA

VISTA INFERIOR



VISTA ISOMÉTRICA



Notes:
 1. All measurement in mm
 unless otherwise specified.
 2. Remove cutting edge
 3. Default finishing

Revisão:
 0

Draw Title:

CONJUNTO ROLDANA ITEM 4.1

Scale:

2:1

Quantity:

05

Size:

A4

Project:

PI-Ro 2.1

Order:
 Juliana Sartori
 Agree:
 Marco Reis

Material:
 Alumínio

ThermalT:

N/A

Finishing:

Page:

9/13

Date:
 07/09/2017

THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR
USED FOR OTHERS MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.

4

3

2

1

4

3

2

1

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017

F

F

E

E

D

D

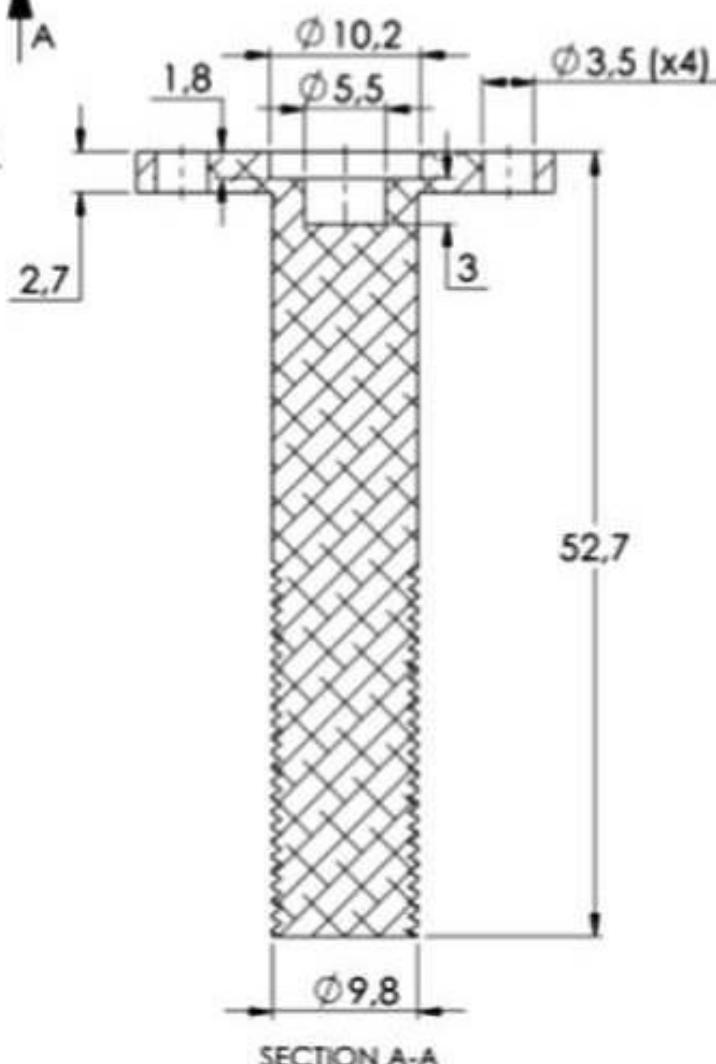
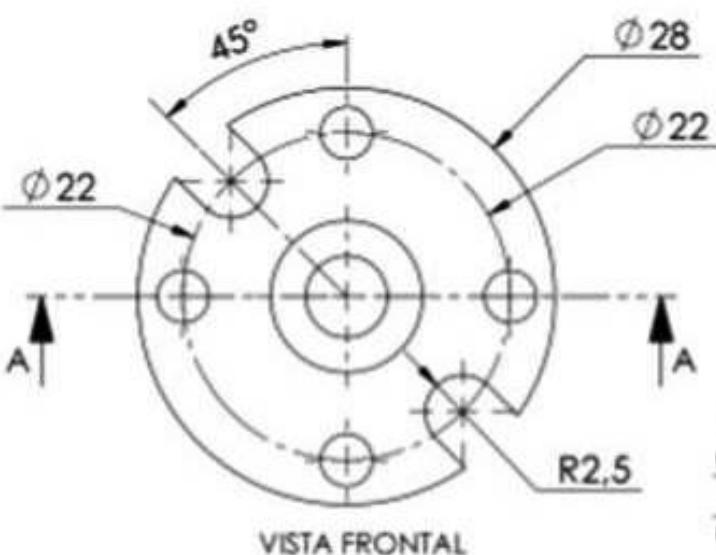
C

C

B

B

VISTA ISOMÉTRICA



SENAI **SISTEMA**
FIEB
Poderoso dos Indústrias do Estado de São Paulo

BR Brazilian Institute of
Robotics

Notes:
1. All measurement in mm
unless otherwise specified.
2. Remove cutting edge
3. Default finishing

Tolerances:
 ± 0.02 (0.01)
 ± 0.01
 ± 0.1
 ± 0.2

Reviewed:
0

Draw Title: CONJUNTO ROLDANA ITEM 4.3

Project: PI-Ro 2.1

Draw: Juliana Sartori

Material: Alumínio

Approved: Marco Reis

ThermalT: N/A

Scale: 2:1

Quantity: 05

Size: A4

Finishing:

Date: 07/09/2017

Page: 10/13

THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR USED FOR OTHER MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.

4

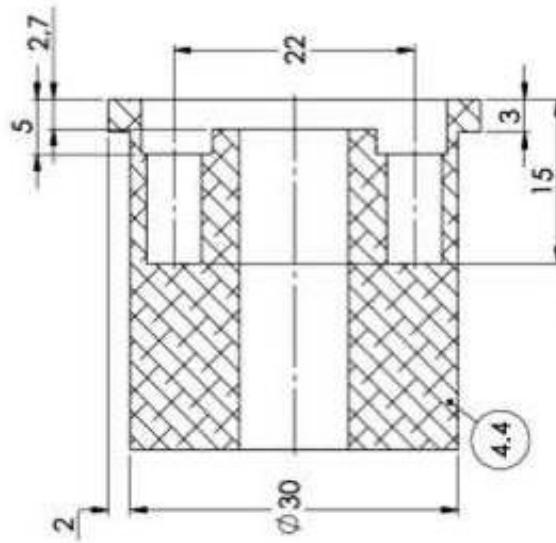
3

2

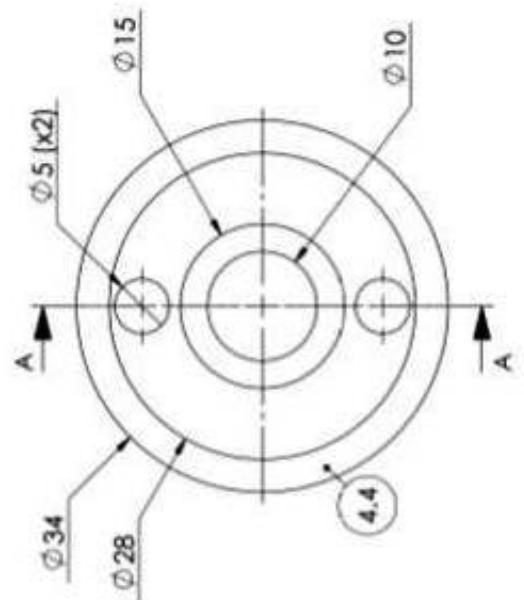
1

A

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Julianna Santori	07/09/2017



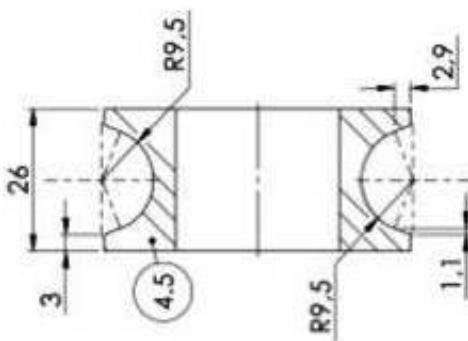
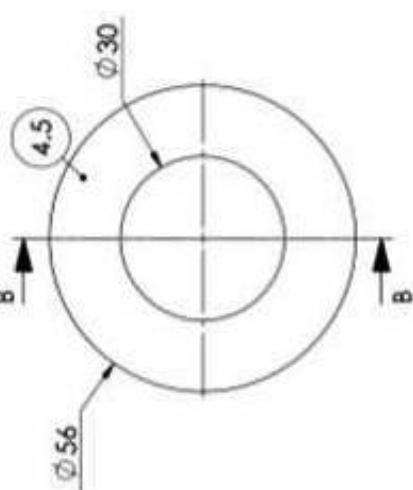
SECCION A-A



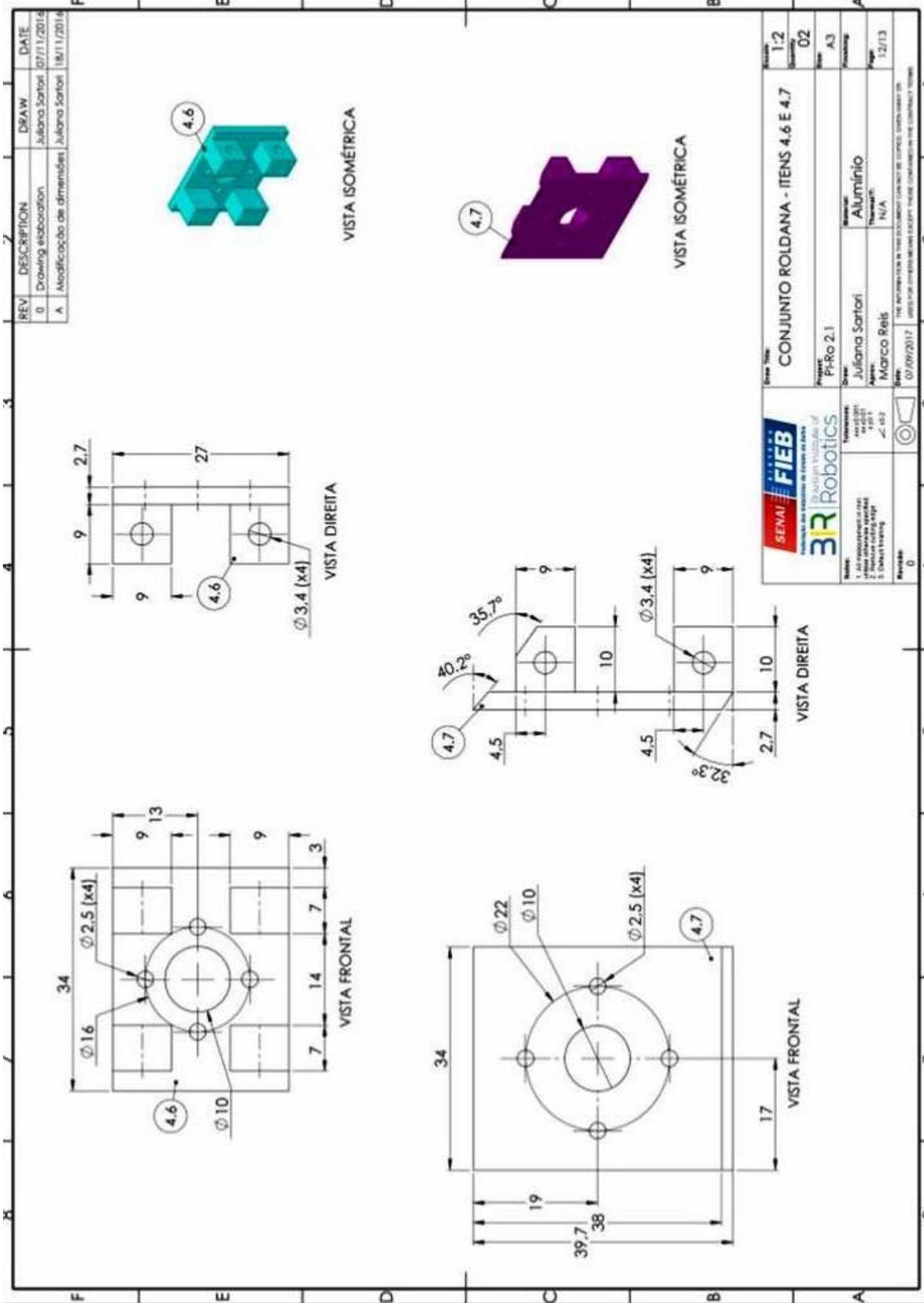
VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA

SECTION B-B
ESCALA 1:1VISTA
FRONTAL
ESCALA 1:1

Line No:	CONJUNTO ROLDANA	Sheet No:	2-1
Item No:	ITEM 4.4 E 4.5	Page No:	05
Project:	PhRo 2.1	Printed:	A3
Organization:	SENAI FIEB	Date:	17/11/13
Robotics:	Brazilian Institute of Science and Technology	Author:	Julianna Santori
Reviewer:	Marco Reis	Thermic:	N/A
Notes:	1. All dimensions in mm. 2. Material: G40 Cr12MoV. 3. Detail drawing.	Comments:	The information in this drawing sheet must be updated when the item is produced.
Reviewer:	N/A	Date:	07/09/2017



4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

4

3

2

1

REV

DESCRIPTION

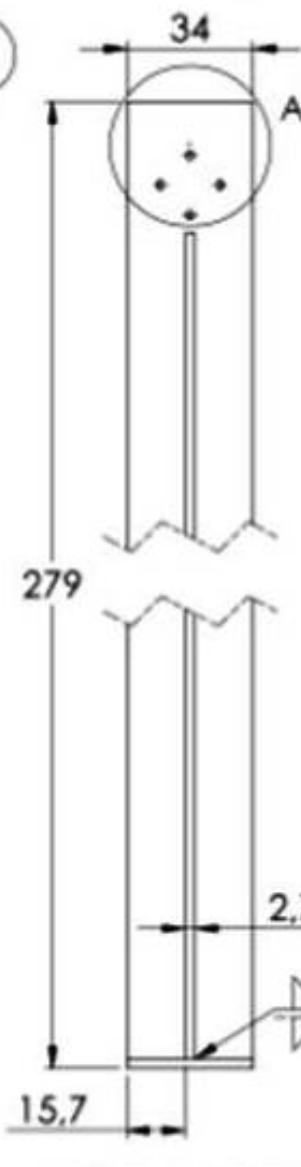
0

Drawing elaboration

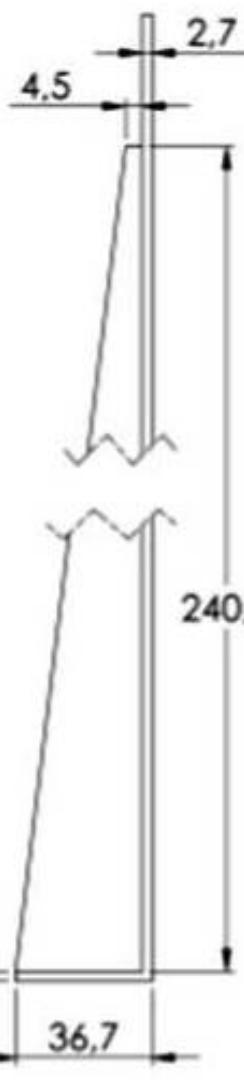
DRAW

Juliana Sartori

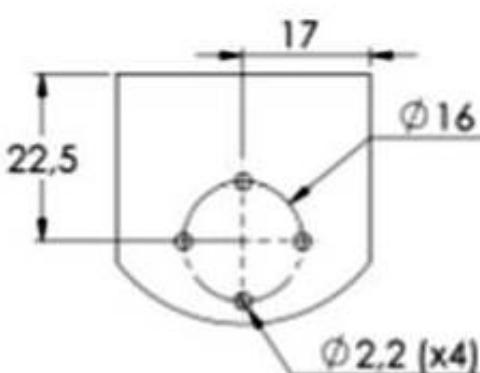
07/09/2017



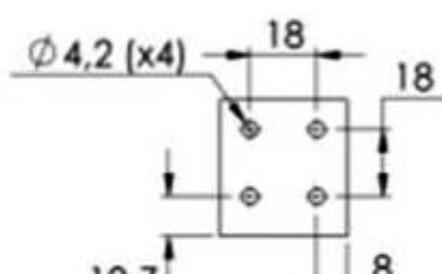
VISTA FRONTAL



VISTA DIREITA

DETAIL A
SCALE 1 : 1

VISTA ISOMÉTRICA



VISTA INFERIOR



Notes:
 1. All measurements in mm unless otherwise specified.
 2. Remove cutting edges.
 3. Default finishing.

Revisor:
 0



Draw Title:

HASTE CENTRAL - ITEM 5

Scale:
1:2Quantity:
01Size:
A4Project:
PI-Ro 2.1Draw:
Juliana Sartori
Approve:
Marco ReisMaterial:
AlumínioFinishing:

ThermalT:
N/A
Page:
13/13Date:
07/09/2017THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR
USED FOR OTHERS MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.

Diagramas eletro-eletrônicos

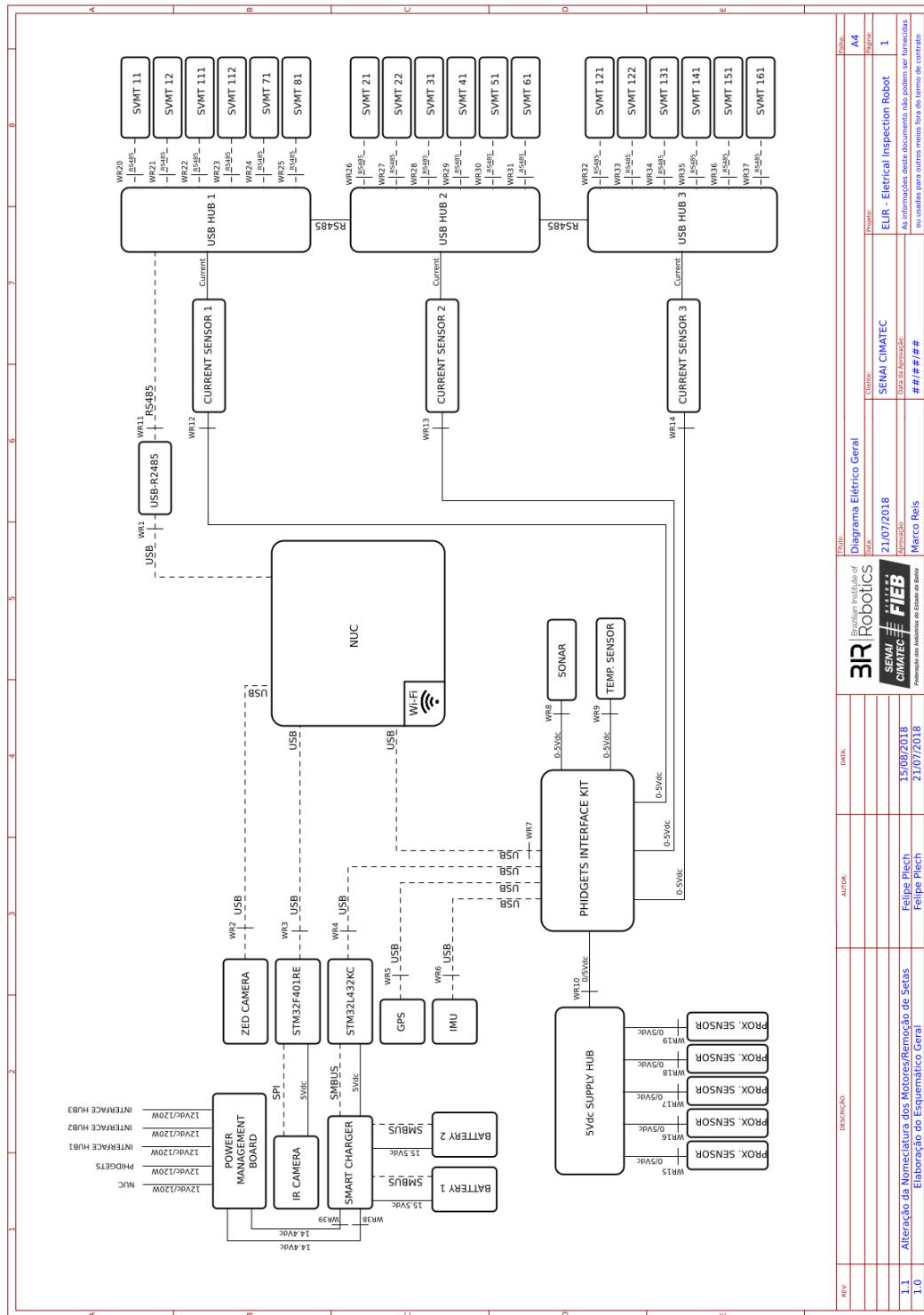


Figura C.1: Esquemático Geral

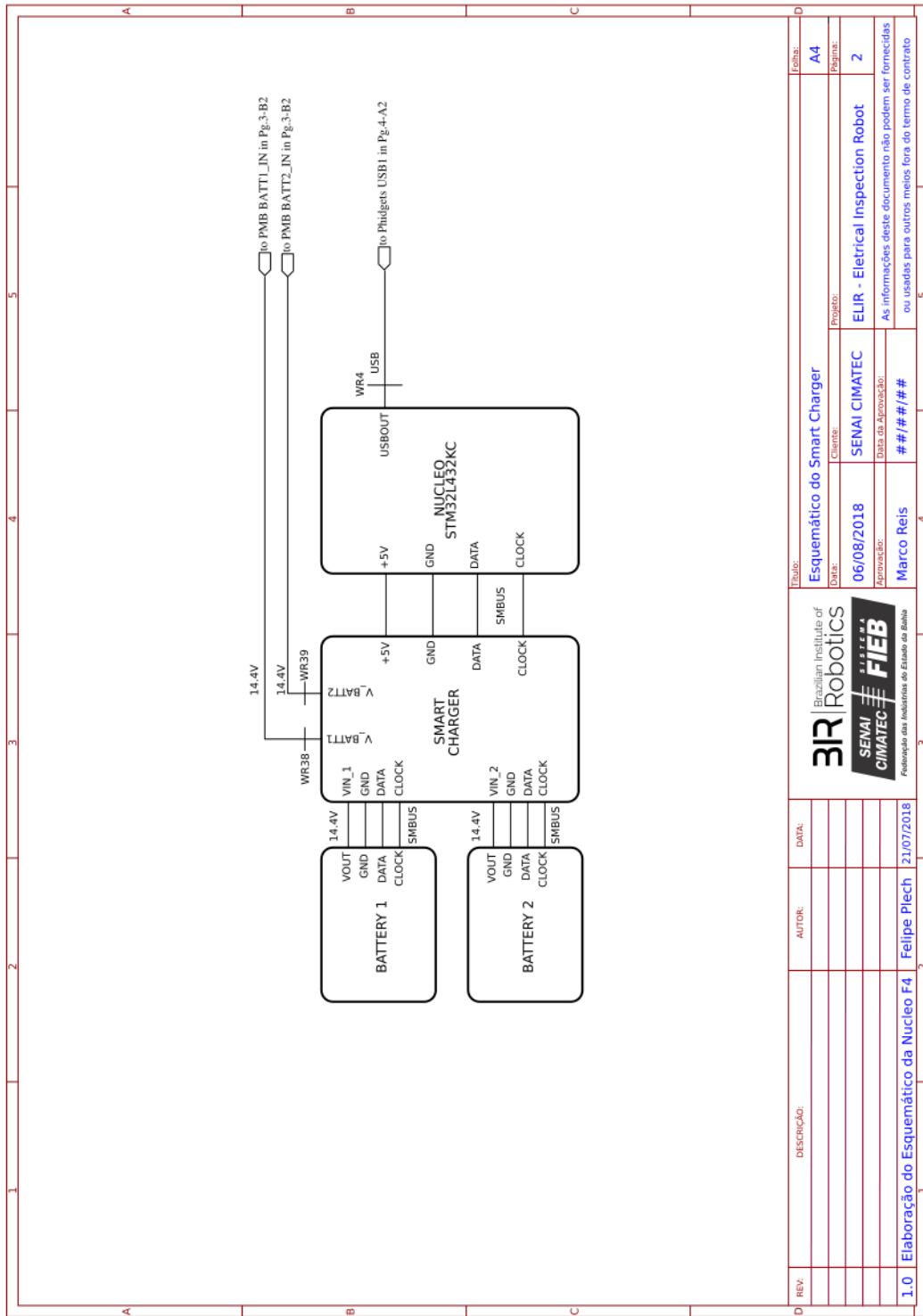


Figura C.2: Esquemático - Smart Charger

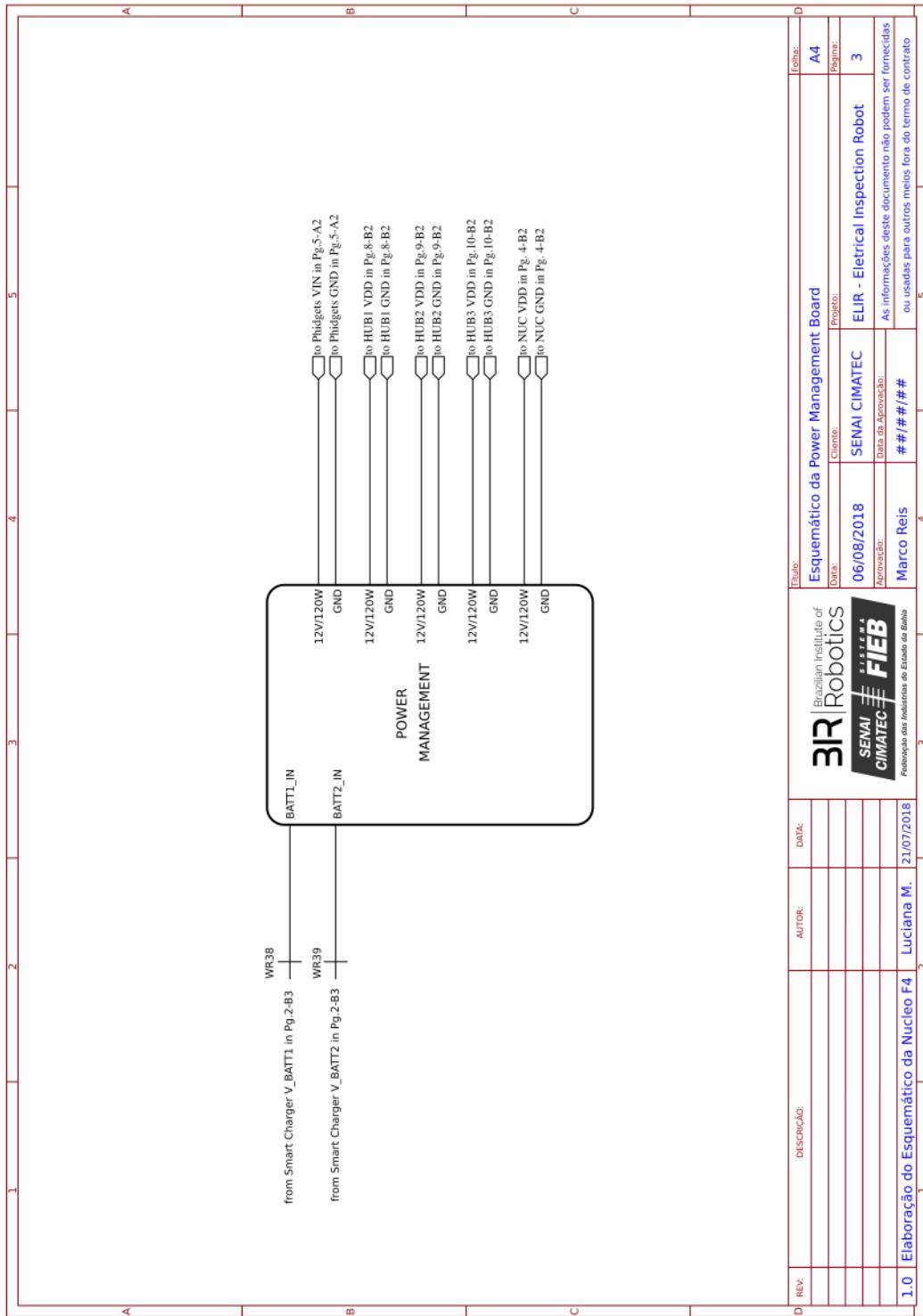


Figura C.3: Esquemático - Placa de Gerenciamento de Energia

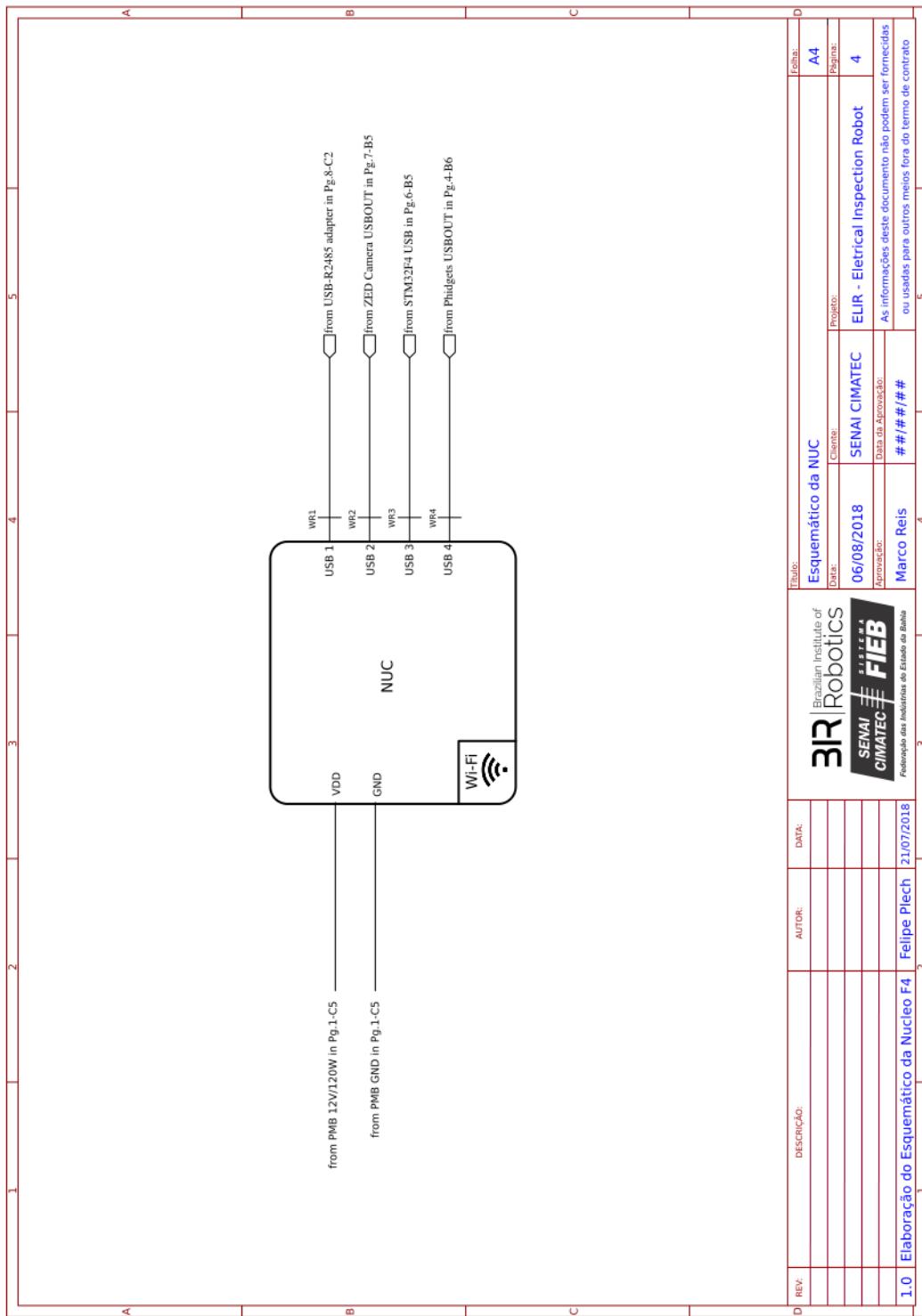


Figura C.4: Esquemático - NUC

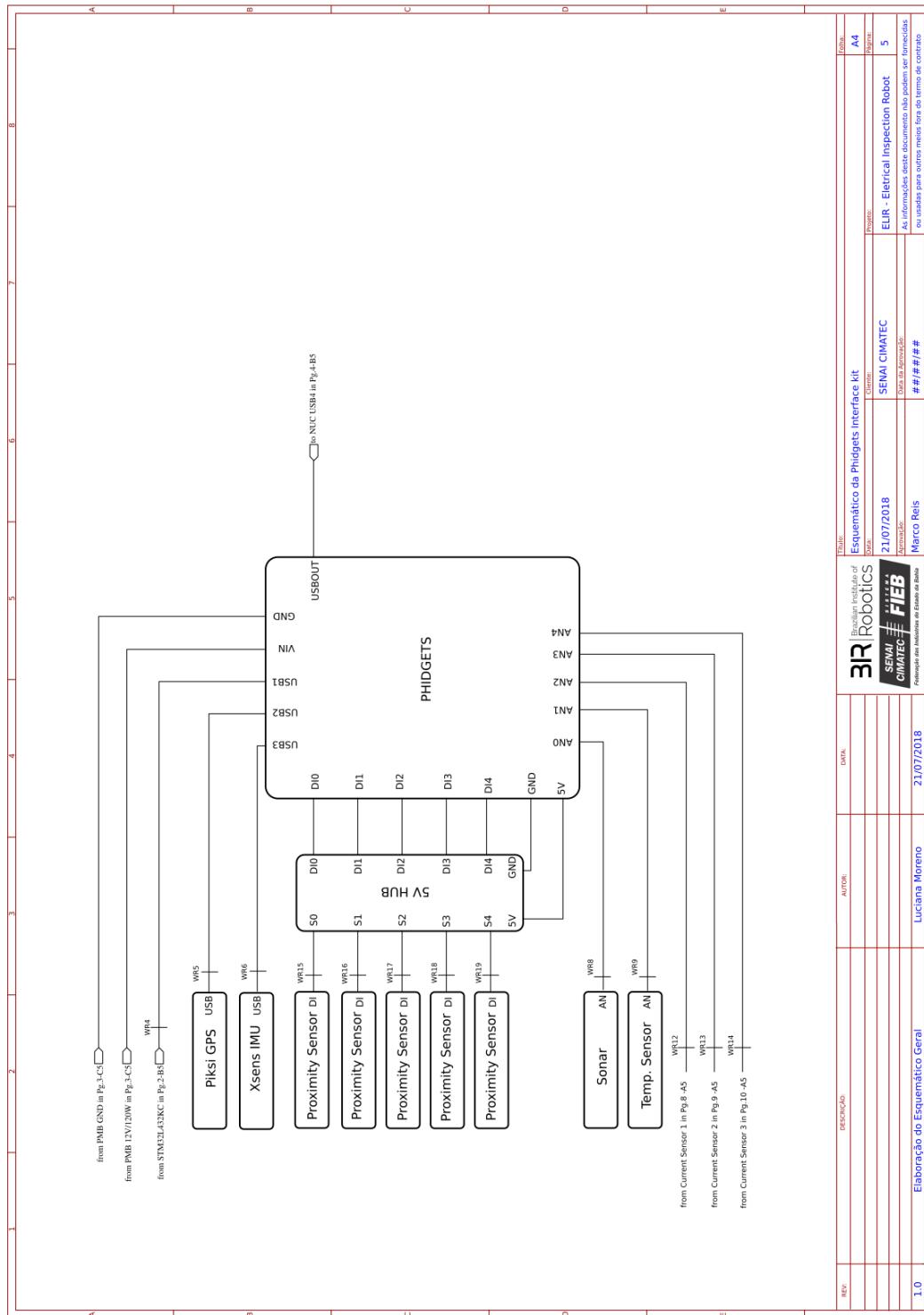


Figura C.5: Esquemático - Phidgets

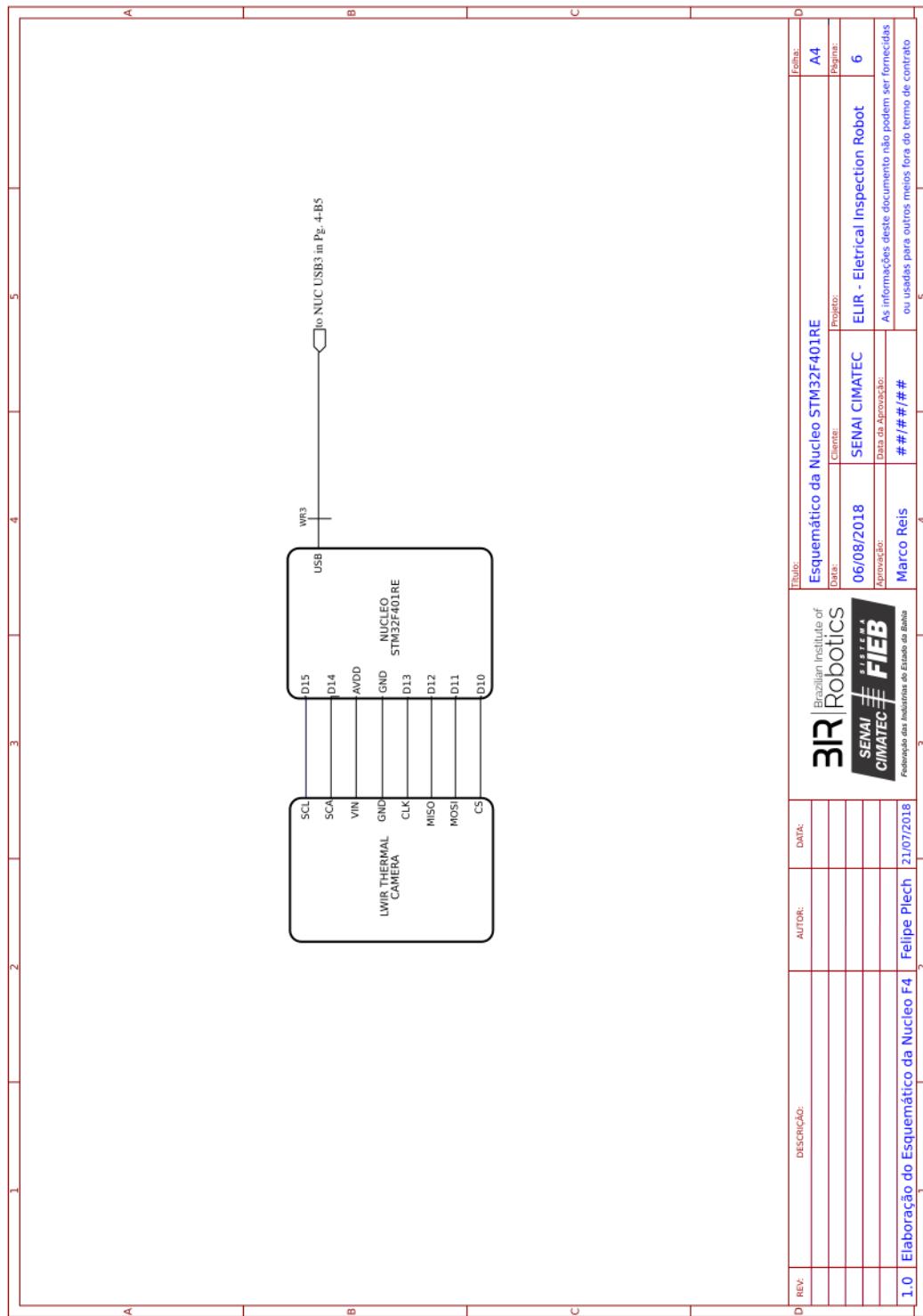


Figura C.6: Esquemático - STM32F401RE e FLIR LWIR Camera

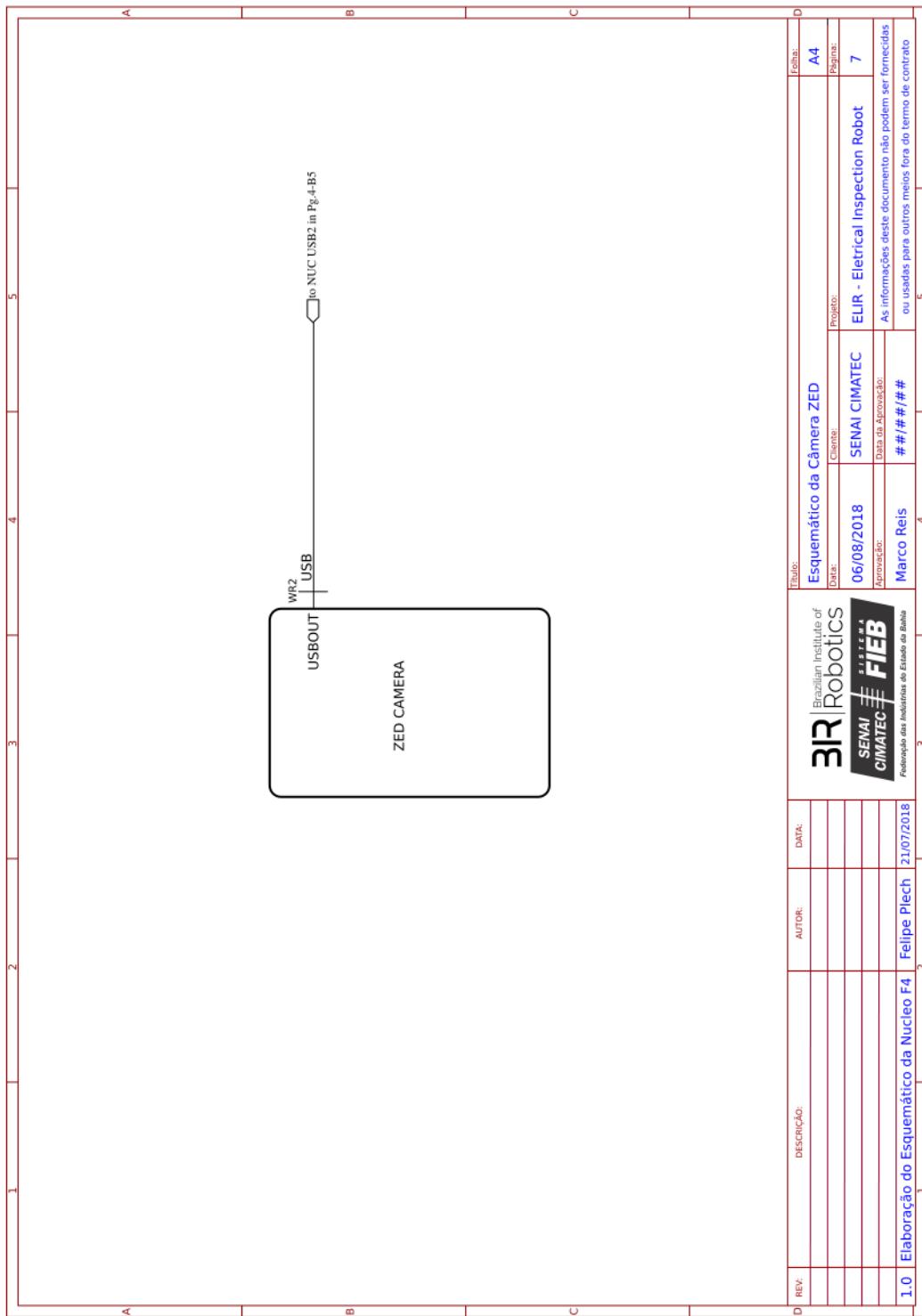


Figura C.7: Esquemático - ZED Camera

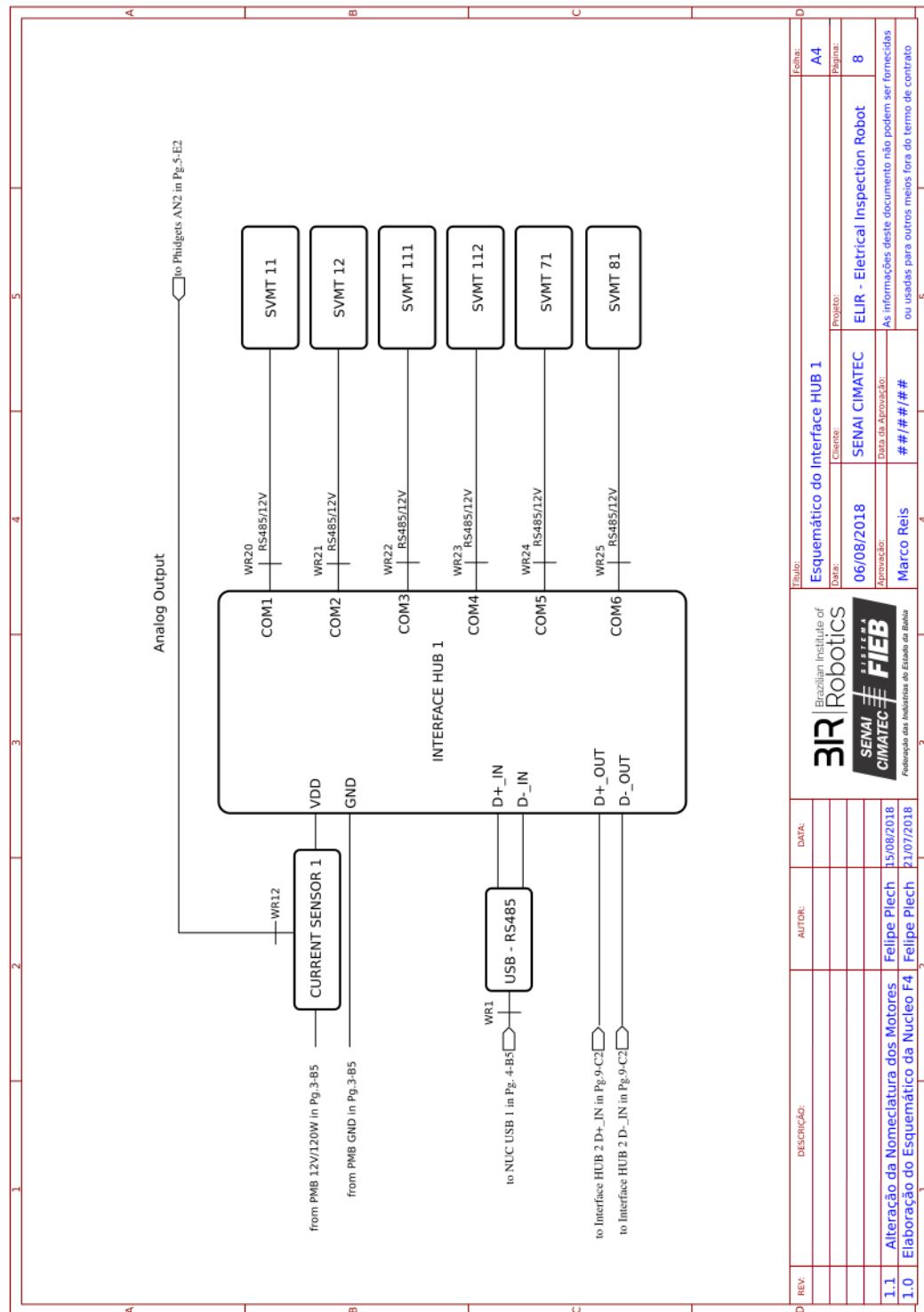


Figura C.8: Esquemático - HUB dos Atuadores 1

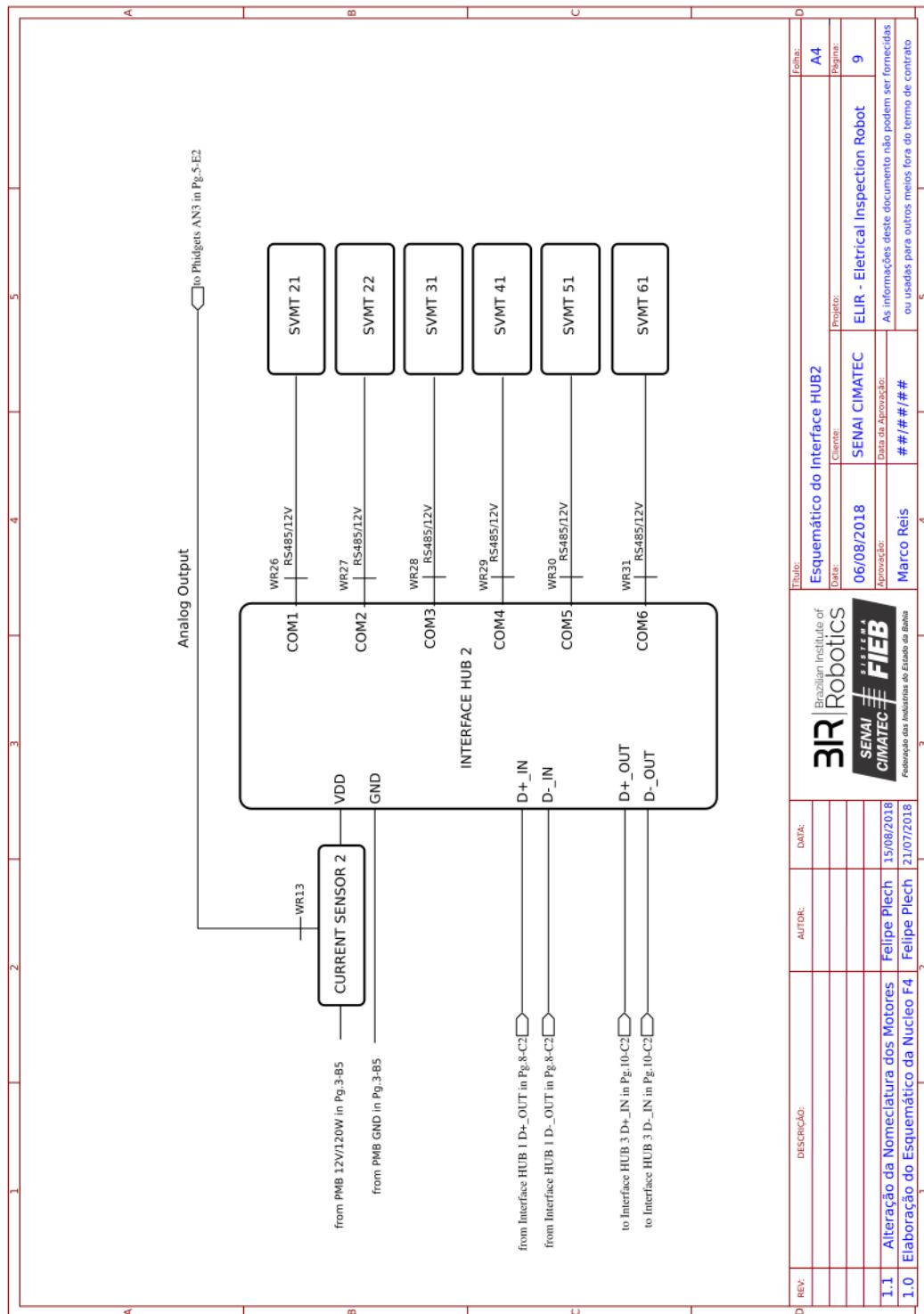


Figura C.9: Esquemático - HUB dos Atuadores 2

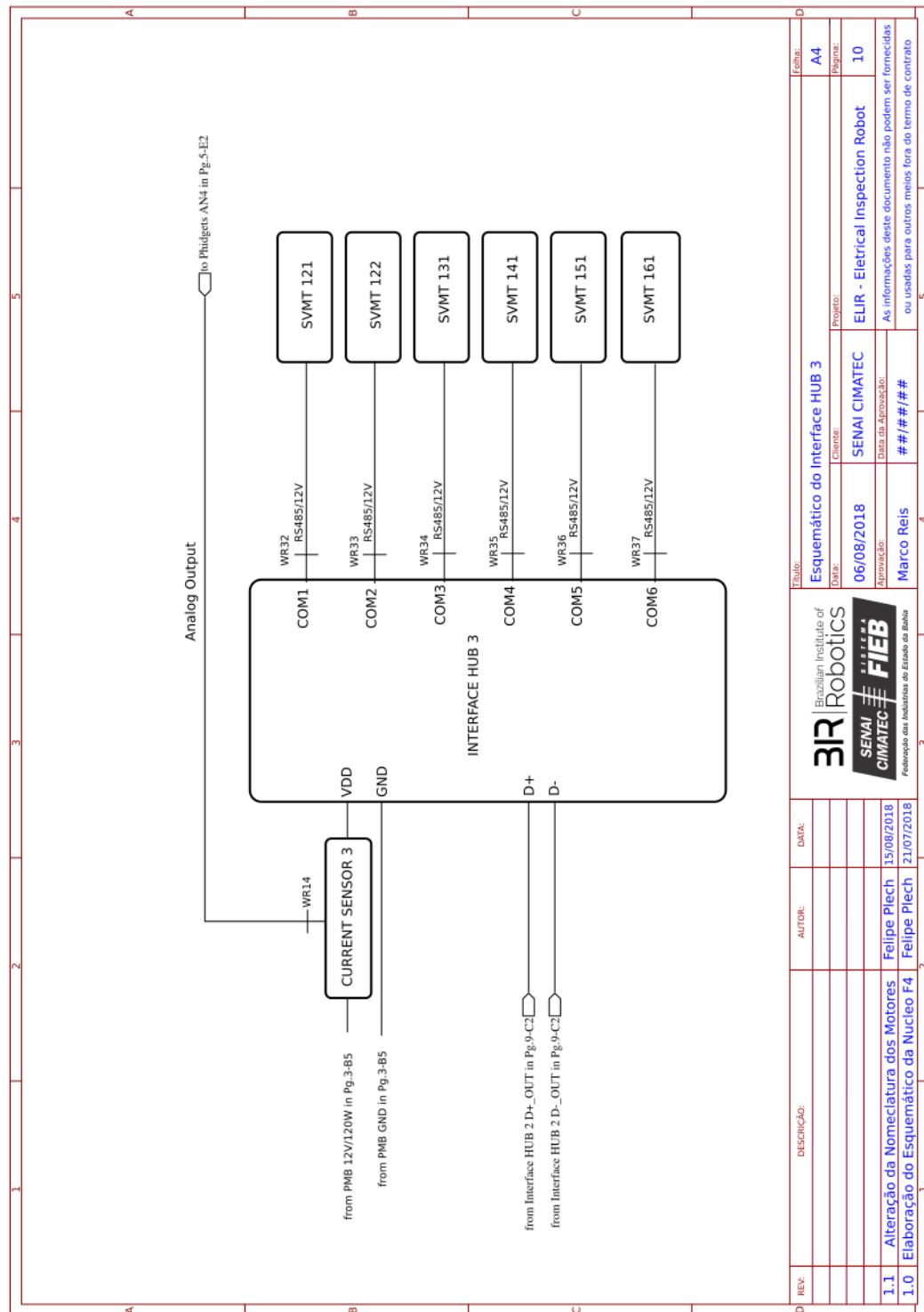


Figura C.10: Esquemático - HUB dos Atuadores 3

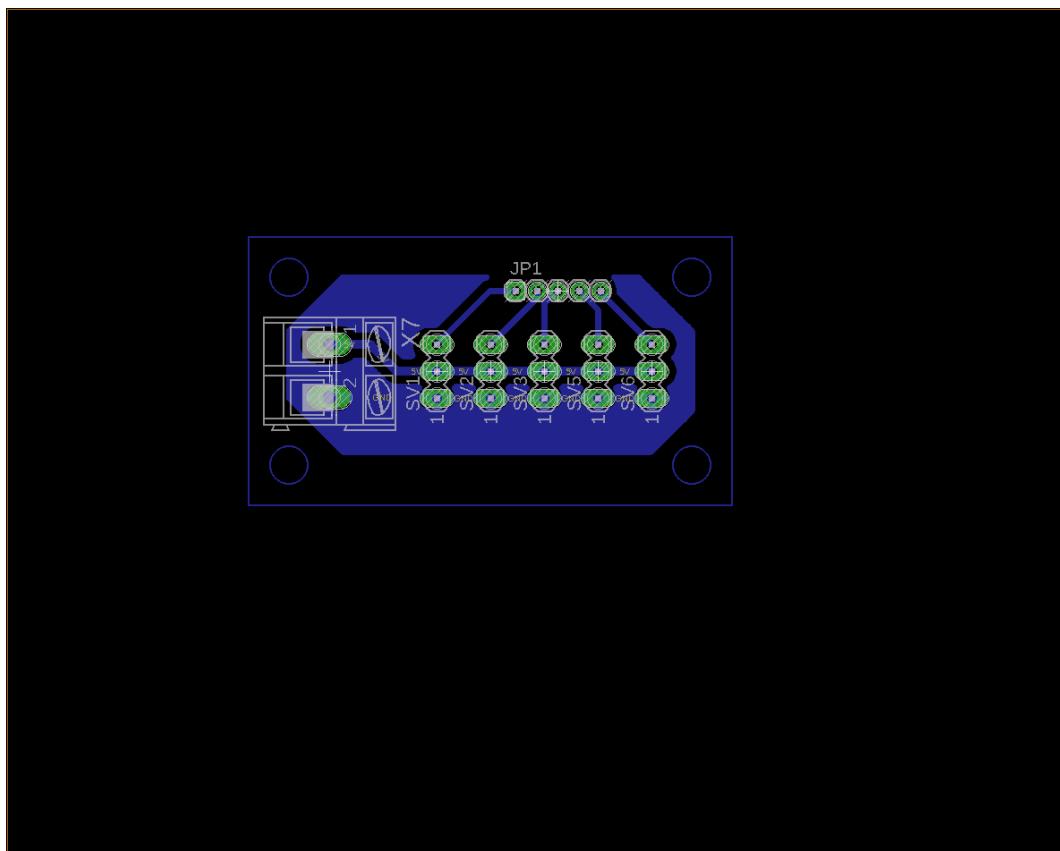


Figura C.11: Placa de Alimentação dos Sensores de Proximidade

Wireframes

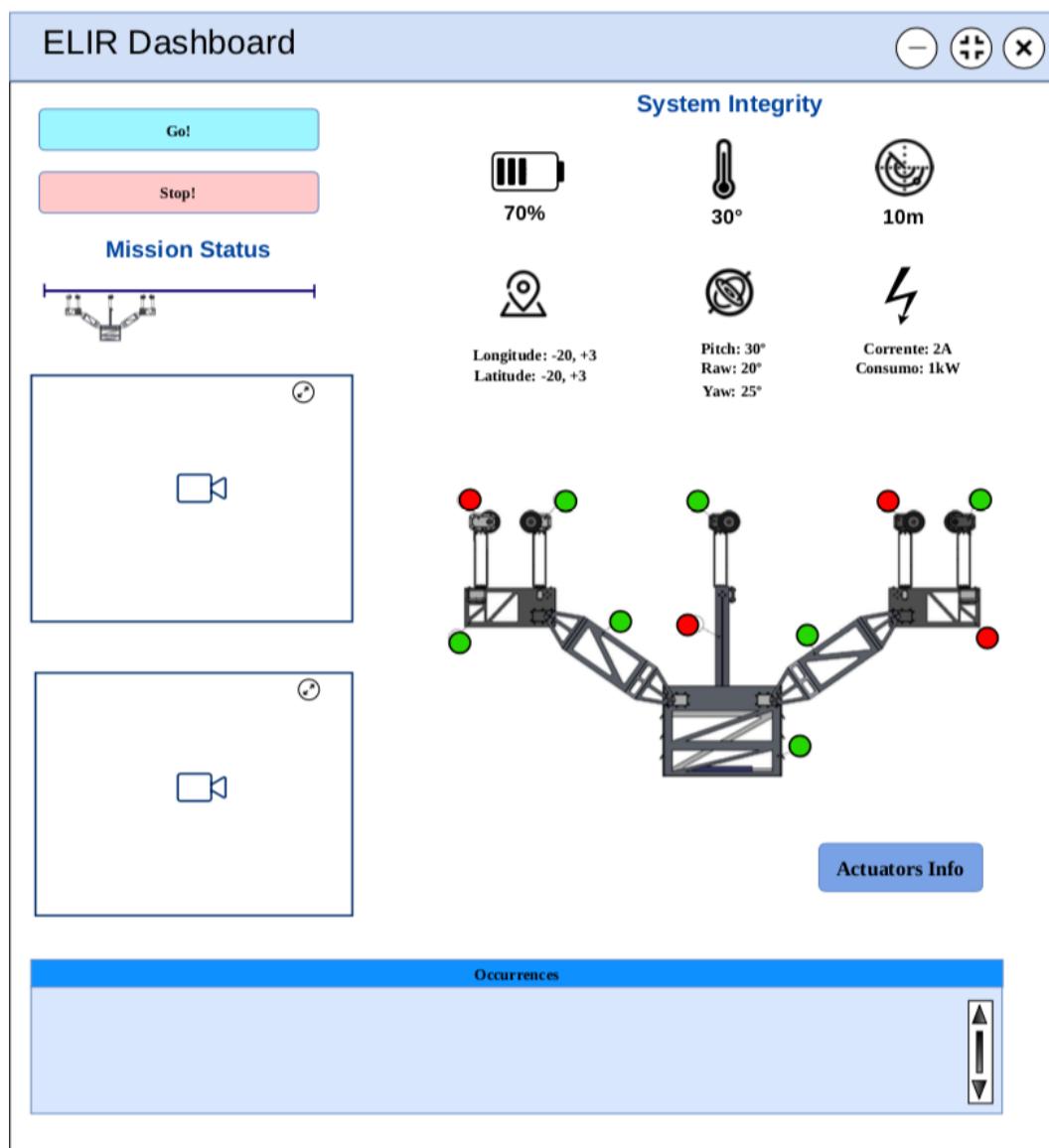


Figura D.1: Dashboard - Main page

Actuators Info			
	Current	Voltage	Temperature
 HUB1 3A	SVMT 11	2 A	2.5 A
	SVMT 12	5 A	2 A
	SVMT 111	4.3 A	1 A
	SVMT 112	2 A	3 A
	SVMT 71	1 A	15 A
	SVMT 81	4 A	6 A
 HUB2 3A	SVMT 21	2 A	2.5 A
	SVMT 22	5 A	2 A
	SVMT 31	4.3 A	1 A
	SVMT 41	2 A	3 A
	SVMT 51	1 A	15 A
	SVMT 61	4 A	6 A
 HUB3 3A	SVMT 121	2 A	2.5 A
	SVMT 122	5 A	2 A
	SVMT 131	4.3 A	1 A
	SVMT 141	2 A	3 A
	SVMT 151	1 A	15 A
	SVMT 161	4 A	6 A

Figura D.2: Dashboard - Actuators Info Page

Logbook

Lista de componentes

ELIR project - BILL OF MATERIAL

\$3.60

Referências Bibliográficas

FABRIS, E. *Ruídos em Sistemas Eletrônicos*. 2009. Disponível em: [\(\textcolor{red}{http://www.ece.ufrgs.br/~fabris/E04055/E04055_Ruido.pdf}\)](http://www.ece.ufrgs.br/~fabris/E04055/E04055_Ruido.pdf). 4.4.1.1

FITZPATRICK, P. *Perception and Perspective in Robotics*. Cambridge, MA, 2003. 2

GYVER, M. M. et al. *LeptonModule - Nucleo F401RE Driver*. Santa Barbara: [s.n.], 2017. Disponível em: [\(\textcolor{blue}{https://github.com/groupgets/LeptonModule}\)](https://github.com/groupgets/LeptonModule). 4.4.1

MICHAELIS. *Percepção*. 2004. URL: <http://michaelis.uol.com.br>. 2

THORPE, C. et al. *Dependable Perception for Robots*. [S.l.], 2003. 2

TRANZATTO, M. et al. *ethz piksi ros*. Zurique: [s.n.], 2018. Disponível em: [\(\textcolor{red}{https://github.com/ethz-asl}\)](https://github.com/ethz-asl). 4.4.7

Percepção e suas funcionalidades para robô de inspeção em linhas de alta tensão

Luciana Moreno Borges
Felipe Cafezeiro Plech

Salvador, Novembro de 2018.